centro de educación continua
división de estudios superiores
facultad de ingeniería, unam

A LOS ASISTENTES A LOS CURSOS DEL CENTRO DE EDUCACION CONTINUA

La Facultad de Ingeniería, por conducto del Centro de Educación Continua, otorga constancia de asistencia a quienes cumplan con los requisitos establecidos para cada curso. Las personas que deseen que aparezca su título profesional precediendo a su nombre en el diploma, deberán entregar copia del mismo o de su cédula profesional a más tardar el Segundo Día de Clases, en las oficinas del Centro, con la Señorita Barraza, de lo contrario no será posible.

El control de asistencia se efectuará a través de la persona encargada de entregar notas, en la mesa de entrega de material, mediante listas especiales. Las ausencias serán computadas por las autoridades del Centro.

Se recomienda a los asistentes participar activamente con sus ideas y experiencias, pues los cursos que ofrece el Centro están planeados para que los profesores expongan una tésis, pero sobre todo para que coordinen las opiniones de todos los interesados constituyendo verdaderos seminarios.

Al finalizar el curso se hará una evaluación del mismo a través de un cuestionario diseñado para emitir juicios anónimos por parte de los asistentes. Las personas comisionadas por alguna institución deberán pasar a inscribirse en las oficinas del Centro en la misma forma que los demás asistentes.

Con objeto de mejorar los servicios que el Centro de Educación Continua ofrece, es importante que todos los asistentes llenen y entreguen su hoja de inscripción con los datos que se les solicitan al iniciarse el curso.

ATENTAMENTE

ING. SALVADOR MEDINA RIVERO
COORDINADOR DE CURSOS.

Tacuba 5, primer piso. México 1, D. F.

DIVISION DE ESTUDIOS SUPERIORES
FACULTAD DE INGENIERIA, UNAM.

CURSOS DE MAESTRIA Y DOCTORADO

La División de Estudios Superiores de la Facultad de Ingeniería, UNAM, ofrece las siguientes Maestrías y Doctorados:

Maestrías		Doctorados
Control	Mecánica	Estructuras
Electrónica	Mecánica de Suelos	Hidráulica
Estructuras	Petrolera	Mecánica de Suelos
Hidráulica	Potencia	Mecánica Teórica y Aplicada
Investigación de Operaciones	Planeación	Investigación de Operaciones
Mecánica teórica y Aplicada	Sanitaria	

Programa de actividades para el segundo semestre de 1976

Exámenes de admisión: 10, 11 y 12 de mayo

Inscripciones: 31 de mayo al 4 de junio

Iniciación de clases: 7 de junio

Requisitos de admisión

a) Cumplir con una de las siguientes condiciones:

1. Poseer título profesional en Ingeniería o en alguna disciplina afín a las maestrías que se ofrecen en la División, otorgado por la UNAM o por cualquier institución nacional o extranjera.

2. Ser pasante de la Facultad de Ingeniería, UNAM

b) Aprobar los exámenes de admisión que se efectuarán en las fechas señaladas arriba.

c) Presentar, dentro del período de inscripciones arriba mencionado, la documentación que se indica en el folleto de Actividades Académicas 1975 de la DESFI

Mayores informes: División de Estudios Superiores de la Facultad de Ingeniería, Apartado Postal 70-256, Ciudad Universitaria, México 20, D. F. Tel.: 548-58-77

"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"
Cd. Universitaria, febrero 3. 1976

EL DIRECTOR DE LA FACULTAD
M. en C. ENRIQUE DEL VALLE CALDERON

EL JEFE DE LA DIVISION
DR. OCTAVIO A. RASCON CHAVEZ

PROYECTO Y USOS ESTRUCTURALES DE LA MADERA

Fecha	Duración	Tema	Profesor
Junio 1°	18 a 21 h	La madera, material estructural. Introducción Antecedentes históricos; la madera en México	Ing. Francisco Robles Fernández
" 3	18 a 21 h	Recursos forestales de México: Su distribución. Propiedades y características de la madera.	Dr. Ramón Echenique Manrique
" 8	18 a 19:30 h	Tratamiento y preservación. Plagas, pudrición, incendio, etc.	Dr. Ramón Echenique Manrique
	19:30 a 21 h	Los reglamentos de construcción, sus bases, distintos enfoques. (DDF, SOP. etc.)	Ing. José Osio
" 10	18 a 19:30 h	Conectores en todas sus modalidades. Cómo se utilizan. Ejemplos típicos.	Ing. Federico Martínez de Hoyos
	19:30 a 21 h	Fabricación de la madera. Diferentes fabricaciones y presentaciones. Tablas, tableros, madera laminda, etc.	
" 15	18 a 21 h	Comportamiento y diseño de miembros sujetos a diferentes condiciones de carga. Miembros en tensión, compresión, flexión, esfuerzos combinados.	Ing. José Osio
" 17	18 a 21 h	Armaduras. Tipos de armaduras, claros, conexiones, diseño de miembros, etc.	Ing. José Osio
" 22	18 a 21 h	Uniones. Casos especiales. Uniones de otros materiales. Dimensionamiento. Ejemplos	Ing. Federico Martínez de Hoyos

##..

'edcs.

PROYECTO Y USOS ESTRUCTURALES DE LA MADERA

Fecha	Duración	Tema	Profesor
Junio 24	18 a 21 h	Cimbras. Obras falsas. Requisitos de cimbras y obras falsas.	Ing. Francisco Robles Fernández
" 29	18 a 21 h	Materiales (madera, conectores, materiales diversos). Principios generales para el diseño. Cargas, esfuerzos permisibles de flexiones. Cimbras de elementos típicos. Ejemplos	Ing. Francisco Robles Fernández
Julio 1°	18 a 21 h	Usos arquitectónicos de la madera. Espacios que genera. Formas. Calidades. Claros . Texturas.	Arq. Jaime Ortíz Monasterio e Ing. Federico Martínez de Hoyos
" 6	18 a 21 h	Usos de la madera en vivienda. Su uso en los diferentes elementos y su integración. Uso residencial, vivienda media, de interés social, pre-fabricación.	Arq. Innes Webster Ing. Federico Martínez de Hoyos
" 8	18 a 21 h a	Aspectos prácticos de la construcción con madera Construcción, adquisición, transporte, manejo, maquinaria para madera, Maniobras y montaje. Inspección. Supervisión.	Ing. Federico Martínez de Hoyos
" 13	18 a 21 h	Seminario.	

DIRECTORIO DE PROFESORES

PROYECTOS Y USOS ESTRUCTURALES DE LA MADERA

DR. RAMON ECHENIQUE MANRIQUE
INVESTIGADOR
INSTITUTO DE BIOLOGIA, UNAM
APARTADO POSTAL 70-233
MEXICO 20, D.F.
TEL: 550.52.15. ext. 4877

ING. FEDERICO MARTINEZ DE HOYOS
DIRECTOR GENERAL TECNICO
CONSTRUCTORA ELEFANTE, S.A.
AV. DE LA PAZ No. 12
SAN ANGEL
MEXICO 20, D.F.
TEL: 550.30.23; 550.35.66 ó 548.88.43

ARQ. JAIME ORTIZ MONASTERIO
PROFESOR
FACULTAD DE ARQUITECTURA, UNAM
CIUDAD UNIVERSITARIA
MEXICO 20, D.F.
TEL: 553.41.28

ING. JOSE OSIO
INVESTIGADOR
INSTITUTO DE INGENIERIA
UNAM
CIUDAD UNIVERSITARIA
MEXICO 20, D.F.
TEL: 548.54.79

ING. FRANCISCO ROBLES FERNANDEZ
JEFE DEL DEPTO. DE MATERIALES
UNIVERSIDAD AUTONOMA METROPOLITANA
AV. SAN PABLO S/N AZCAPOTZALCO
MEXICO 16, D.F.
TEL: 561.94.00 ó 561.37.33 ext. 205

ARQ. INNES WEBSTER
PROFESOR TITULAR
ASESOR DEL GRUPO SAHAGUN EN
ARQUITECTURA, UNAM
CD. UNIVERSITARIA
MEXICO 20, D.F.
TEL: 553.41.28

centro de educación continua
división de estudios superiores
facultad de ingeniería, unam

PROYECTO Y USOS ESTRUCTURALES DE LA MADERA

"LA MADERA, MATERIAL ESTRUCTURAL. INTRODUCCION ANTECEDENTES HISTORICOS; LA MADERA EN MEXICO"

Ing. Francisco Robles Fernández

Palacio de Minería
Tacuba 5, primer piso. México 1, D. F.
Tels.: 521-40-23 521-73-35 5123-123

1.- INTRODUCCION

FRANCISCO ROBLES F. V.

" La madera es el único material vivo que se emplea en la construcción y, como todo lo que proporciona la vida, es algo menos rígido que los otros. El atractivo que tiene la madera procede, en gran parte, de sus cualidades vitales".

Eduardo Torroja (1.1)

La madera fue probablemente el primer material usado para fines estructurales por el hombre y, a través de los siglos, ha seguido desempeñando un papel importante en la construcción de obras de todo tipo. En la actualidad se observa un interés creciente por este material, que obedece en gran parte a su naturaleza viva. En efecto la madera puede reproducirse y cosecharse; es el único recurso natural renovable dotado de buenas propiedades estructurales. En esta época en que nos preocupan, por una parte, la crisis de energéticos y de minerales y, por otra, la progresiva contaminación ambiental, es evidente el interés de un material como la madera, cuya transformación en material de construcción implica menor consumo de energía y menor

. . .

contaminación del aire y del agua que los que caracterizan a la fabricación del acero, el cemento, el aluminio, los ladrillos y los plásticos. Según la referencia 1.3 la madera es el material de construcción que menos consumo de energía requiere para su conversión de producto natural en producto terminado útil para fines constructivos. Así, por ejemplo, según esta referencia la energía que hace falta para procesar la unidad de peso de madera es aproximadamente seis veces inferior a la necesaria para la unidad de peso de acero estructural. Debido a la ligereza de la madera, se ahorran energéticos no sólo en los procesos de elaboración, sino también en el transporte. (Es necesario mencionar que la madera misma puede ser una fuente de energía lo que pudiera inhibir su uso como material estructural en caso de que la crisis de energéticos se agudizará).

Por otra parte, constituye al interés de la madera como material estructural el que la fabricación de productos derivados de la madera pueda dar origen a multitud de industrias que podrían constituir una importante fuente de ingresos para la población rural. Además las plantas pueden ser relativamente pequeñas sin menoscabo de su eficiencia.

La naturaleza viva de la madera se refleja en lo complejo de su estructura. Tanto sus cualidades como sus limitaciones se derivan de esta estructura. En las palabras de Torroja (1.1)

"Las fibras son la característica constitutiva esencial de la madera. La fibra le da su belleza, su expresión resistente, - su estructura vital". La estructura fibrosa de la madera es el origen de sus características anisótropas, que constituyen un inconveniente desde el punto de vista de su uso como material estructural. La madera es resistente a los esfuerzos normales paralelos a las fibras,pero es débil ante estas acciones en el sentido perpendicular a ellas. También es baja la resistencia de la madera a esfuerzos cortantes paralelos a las fibras. Por otra parte, es en las fibras donde reside el atractivo estético de las variadas texturas de la madera.

Desde el punto de vista estructural la madera tiene indudables ventajas. Una de las más importantes es su ligereza: es uno de los materiales que pueden desarrollar una mayor - fuerza de tensión o comprensión por unidad de peso. Consecuentemente su comportamiento en flexión es también adecuado. En estos aspectos, en muchas circunstancias compite favorablemente con el concreto y el acero. La siguiente comparación entre este último material y la madera es ilustrativa.

Supóngase un acero con un esfuerzo permisible en tensión de 1400 Kg/cm^2 y en peso volumétrico de 7850 kg/m^3, frente - a una madera con un esfuerzo permisible de 90 Kg/cm^2 y por peso volmétrico de 600 kg/m^3. La eficiencia estructural de los dos materiales puede compararse determinando sus relaciones esfuerzo permisible/peso. Para el acero considerado este valor es -

0.18 cm^2/m^3 mientras que para la madera es 0.15 cm^2/m^3. Se aprecia que los valores obtenidos son del mismo orden.

En la comparación puede hacerse intervenir el costo calculando, para cada material, su coeficiente económico-resistente, es decir el costo del material necesario para soportar una carga unitaria en una longitud unitaria. Supóngase por ejemplo, que se conservan los mismos datos de esfuerzos permisibles y pesos volumétricos de la comparación anterior y que el precio del kilogramo del acero y del kilogramo de madera en una estructura terminada son respectivamente $15 y $11 . Considerando un elemento estructural de un metro de longitud sometido a una carga de 1000 kg se encuentra que el costo de soportar esta carga con cero es $8.40 mientras que el costo correspondiente para madera es de sólo $7.30.

Los valores utilizados en las comparaciones anteriores son sólo ilustrativos y pueden variar considerablemente según los tipos de acero y madera y las características de la estructura estudiada. Sin embargo, como se indicó anteriormente, se encuentran con alguna frecuencia situaciones en que puede resultar ventajoso el uso de la madera.

En cuanto a los aspectos constructivos, cabe señalar que la madera es un material relativamente fácil de trabajar con herramientas sencillas, lo que hace posible el logro de una

gran diversidad de secciones y formas. Su ligereza implica costos de transporte y montaje bajos lo que es significativo cuando se trata de sistemas de construcción a base de prefabricación. Compárese por ejemplo, el costo del transporte y del montaje en sistemas de prefabricación a base de elementos precolados de concreto.

Otras ventajas de la madera son su gran capacidad para absorber energía y resistir impactos, lo que la hace que resulte particularmente apropiada para estructuras como las de los muelles, su alta resistencia a la fatiga, sus características como aislante tanto térmico como acústico, y la facilidad con que su superficie puede pintarse. Además la madera es un material biodegrable, que no presenta los problemas de la eliminación de los productos de demolición propio de las estructuras de concreto.

Deben mencionarse también algunos inconvenientes de la madera como material estructural. Uno es la forma en que la madera se encuentra en la naturaleza: en piezas rectas, de longitud mayor que sus dimensiones transversales. Tanto el tamaño como la forma imponen restricciones a las escuadrías posibles. Desventajas adicionales de la madera son su tendencia a las variaciones volumétricas con los cambios de humedad del ambiente, el aumento progresivo con el tiempo de las deformaciones bajo carga permanente, la dificultad de realizar unio-

nes adecuadas, el peligro de pudrición bajo la acción de determinados organismos vivos, y el peligro de incendio.

La tecnología moderna ha permitido contrarrestar algunos de estos inconvenientes en cierto grado. Así, las técnicas de la madera laminada y del triplay o madera contrachapada descritas en el capítulo 9 han hecho posible la creación de elementos estructurales de formas y dimensiones que anteriormente no eran factibles, uniendo piezas pequeñas o láminas por medio de pegamentos. En el capítulo 6 se describen los diversos medios disponibles para proteger la madera contra los agentes que propician la pudrición. Gracias al desarrollo de una gran variedad de conectores, algunos de los cuales se mencionan en el capítulo 7, se han podido resolver algunos de los problemas relativos a las uniones entre elementos de madera. El comportamiento de las estructuras de madera ante los incendios es con frecuencia motivo de preocupación. Sin embargo, como se indica en el capítulo 5, es comparable al de otros materiales, cuando no es incluso más favorable. La resistencia al fuego puede mejorarse en cierto grado por medio de tratamientos especiales. Preocupan también la durabilidad de la madera. Sin embargo, el hecho es que, bajo condiciones adecuadas la duración de las estructuras de madera puede ser muy superior a lo que suele aceptarse como vida útil de un edificio. (Para muchos fines es común considerar una vida útil de 50 años). Así perduran en Europa muchos ejemplos de techos y otras estructuras que

datan del medioevo. Así mismo se conservan en Extremo Oriente estructuras de madera de la misma época. En las ruinas mayas de Yucatán no es raro encontrar elementos de chicozapote que todavía cumplen con su función estructural.

La madera, pues, no obstante sus inconvenientes, es un material de indudable interés, por su versatilidad estructural, su atractivo estético, su costo aceptable, su características de ser un material renovable y el bajo consumo de energéticos requeridos para convertir el productor natural en elemnetos estructurales. Este interés por las aplicaciones estructurales de la madera existido desde los tiempos más remotos, como puede apreciarse en la breve reseña histórica presentada en el capítulo 3. Baste por el momento mencionar algunas de las aplicaciones más importantes.

Probablemente el máximo consumo de madera para fines estructurales ha correspondido a la vivienda y aún hoy en muchos países sigue siendo el material preferido para la construcción de habitaciones. Sin embargo, el uso de la madera no ha estado limitado a edificios de dimensiones relativamente reducidas como son las viviendas. Se ha empleado también con éxito en la construcción de techos de claros considerables para iglesias, edificios industriales y lugares de reunión. Los primeros puentes indudablemente fueron de troncos de árboles y todavía se construyen puentes provisionales, e incluso algunos permanentes, con -

madera, cuando los claros no son muy grandes. Es frecuente - el uso de la madera en muelles y otras estructuras portuarias. La madera ha desempeñado siempre un papel importante en diversas estructuras auxiliares de la construcción tales como andamios, cimbras y obras falsas. Aunque en la acutalidad se - tiende a preferir los pilotes de concreto para cimentar estructuras de terrenos de baja resistencia, en algunas circunstancias todavía se recurre a los de madera. Otras aplicaciones - estructurales importantes son los durmientes de ferrocarril y los postes para líneas telefónicas y para líneas transmisión y distrubución de energía eléctrica.

La importancia de la madera como material estructural resulta evidente de las breves consideraciones anteriores. Sin embargo, en México su uso esta prácticamente restringido a - obras falsas, cimbras, durmientes y postes, siendo poco significativas las demás aplicaciones posibles. Pueden aducirse diversas razones para explicar esto. Existe cierta confusión sobre la importancia de nuestros recursos forestales y la posibilidad de explotarlos. La información sobre las propiedades de las maderas mexicanas es escasa. Las normas de clasificación de madera son rudimetarias y con frecuencia se ignoran. Son pocos los profesionistas, técnicos y obreros familiarizados con la tecnología de la madera. En el presente texto se pretende presentar un panorama de las perspectivas de la madera como material estructural en México, a la vista de la infor

mación más reciente disponible. Además se expondrán conceptos fundamentales del dimensionamiento de elementos y estructuras sencillas. El propósito es despertar interés en este versátil material tan despreciado en nuestro medio.

En las obras de Torroja (1.1), Andrews (1.2) y Beckett - (1.4), el lector encontrará consideraciones generales sobre la madera como material estructural, así como comparaciones con - otros materiales.

R E F E R E N C I A S

1.1 E. Torroja "Razón y ser de los tipos estucturales", 2da. edición, Instituto Técnico de la Construcción y del Cemento, Madrid, 1960.

1.2 H. J. Andrews, " An Introduction to Timber Engineering", Pergamon Press, Oxford, 1967.

1.3 "Gluelam Bridge Systems: Plans and Details", American Institute of Timber Construction, Englewood, Colorado, 1974.

1.4 D. Beckett y P Marsh, " An Introduction to Structural Design: Timber, Surrey University Press, Londres, 1974.

3. LA MADERA EN LA HISTORIA.

FRANCISCO ROBLES F.V.

En lo que sigue se reseña de una manera informal algunos aspectos salientes de la evolución a través de los años del uso de la madera como material estructural. El tratamiento dista mucho de ser sistemático y exhaustivo. Así, por ejemplo, en aras de la brevedad se han omitido temas de indudable interés como el de las aplicaciones de la madera en China y el Japón.

El lector interesado en ahondar más en la historia de los usos estructurales de la madera puede consultar la obra editada por Hansen (3.1), que se refiere esencialmente a la construcción con madera en Europa y América del Norte.

3.1 LOS PRIMEROS TIEMPOS

El uso de la madera como material de construcción probablemente precedió al de la piedra. Los nómadas de las épocas prehistóricas, cuando de preferir construir chozas de ramaje cubierto de lodo o pieles a la difícil labor de levantar muros de piedra.

Dada la relativamente escasa durabilidad de la madera no se han conservado restos de estos primeros albergues. Sin embargo, existen testimonios que de una manera indirecta permiten reconstuir sus características generales. En algunos casos se han encontrado huellas de elementos de madera en los suelos en que estaban empotrados: la madera ha desaparecido pero queda su impresión. En Ahrensburg, (Holstein), Alemania, los arqueólogos han descubierto unos círculos de piedras que se supone fueron utilizados por cazadores de renos de la Edad de Piedra para anclar las pieles con que cubrían los postes que formaban la estructura de sus viviendas (3.1). En la Cueva de la misma época que muestra una choza aparentemente construida de postes y ramajes (3.1). Estas estructuras rudimentarias parecen derivar de las tiendas fácilmente desmontables y transportables que debieron de ser las primeras viviendas de las tribus nómadas. Esto explica el predominio de las plantas circulares u ovaladas.

Un estudio de las habitaciones de los pueblos primitivos de la actualidad nos ayuda a adivinar cómo fueron estas antiguas construcciones. En la Fig. 3.1 se muestran algunos ejemplos típicos y en las referencias 3.2 y 3.8 puede encontrarse información adicional. En la Fig. 3.2 se ilustran algunos detalles de unión usuales. Detalles semejantes perduraron hasta que se desarrolló la metalurgia, se inventaron el clavo, el tornillo y el perno, y se empezaron a utilizar herramientas -

metálicas. Los únicos recursos con que contaron los antiguos constructores fueron hachas, cuñas y cuchillos de piedra, posiblemente sierras de hueso y, para amarrar, cordaje de tiras de cuero o de materiales fibrosos de origen vegetal. Para cortar varas quizás se recurría al fuego.

A medida que los pueblos se volvían sedentarios sus construcciones adquirían características más permanentes. En lugar de ramaje se utilizaron troncos. La propia naturaleza indicaba el camino: el árbol vivo sugiere la columna; el árbol caído, la viga. El empleo de elementos pesados para los muros y techos condujo a viviendas de planta rectangular. Un ejemplo típico de la época paleolítica son las huellas de seis viviendas rectangulares, de tres metros de ancho por doce de longitud, descubiertas en Rusia en el poblado de Timonovka, sobre el río Desna, cerca de Briansk. Estas cosntrucciones estaban hundidas en el suelo hasta una profundidad de unos tres metros. Se entraba en ellas por una rampa. Las paredes estaban forradas de troncos y el techo estaba formado también de troncos cubiertos con tierra. Se atribuye a estas estructuras una antigüedad de unos 20 000 años (3.3). Todavía hoy se construyen viviendas semejantes, muy apropiadas para climas fríos, en Siberia (3.2). Otros restos de construcciones paleolíticos han sido descubiertos en Vestonice, Checoeslovaquia (3.3).

Ya en el neolítico se encontraban definidos los dos sistemas

básicos utilizados en las estructuras de madera hasta prácticamente la época moderna: los edificios con muros formados por troncos de madera colocados horizontal o verticalmente armazones de columnas y vigas de madera rigidizados con elementos diagonales y horizontales.

Los sistemas a base de troncos horizontales predominaron en los lugares donde abundaba la madera como en gran parte del norte de Europa. En ellos tuvo su origen la técnica, "lafte", desarrollada en los países escandinavos y otras regiones, que se caracterizaba por la forma de unir los troncos en las esquinas por medio de ranuras (Figs. 3.3-a y 3.3-b). El sistema constructivo era sencillo como se aprecia en la Fig. 3.3-c. La estructura del techo solía hacerse con elementos más ligeros. Las casas de troncos horizontales se siguieron construyendo en los países escandinavos hasta épocas relativamente recientes. El sistema fue introducido en los Estados Unidos por los colonizadores escandinavos que se establecieron a orillas del río Delaware en el siglo XVII y fue adoptado por los pioneros que poblaron las regiones del oeste, bajo la conocida forma del "log-cabin". Una de las razones de su éxito fue que no requería clavos, cuyo costo fue elevado hasta que su fabricación se industrializó. Aún hoy se sigue utilizando en la construcción de edificios de recreo de estilo rústico (3.9).

Los sitemas de armazones de postes y vigas de madera fue

ron comunes en regiones de recursos forestales limitados. Los postes solían empotrarse directamente en el suelo. Los espacios entre los postes se rellenaban con ramaje entrelazado y lodo - (Fig. 3.4) y en tiempos posteriores con diversos tipos de mampostería. Restos neolíticos de variantes de este tipo de construcción se han encontrado en una multitud de lugares.

En Köln - Lindenthal, cerca de Colonia, Alemania, se han descubierto restos de un poblado que existió alrededor del año 4 200 a. de J. C., formado por viviendas de este tipo (3.3). En la Fig. 3.5 se muestran sus características generales. En la Fig. 3.6 se reproduce una construcción de lo que pudo ser el poblado excavado en Aichbül, en Würtemberg, Alemania, que se supone existió alrededor del año 1 100 a. de J. C. Los muros de algunas de las casas de este poblado estaban formadas por postes o tablones hincados en el suelo uno junto a otro, de manera que no se requería relleno (3.3).

Una variante interesante es la de los palafitos, viviendas construidas en los lagos sobre estacas o postes. El ejemplo más conocido corresponde a los restos de una población descubiertos, en el lago Zurich, Suiza. Otro poblado lacustre fue Glastonburq, en Inglaterry. Huellas de estructuras semejantes, existen también en Italia e Irlanda. En la Fig. 3.7 se da una idea de las características generales de los poblados lacustres. Hoy se encuentran construcciones semejantes en las marismas de Portugal,

en Ocenía y en algunas regiones de América del Sur y de Africa.

En las regiones mediterráneas y del cercano Oriente a pesar de que la madera era más escasa que en el resto de Europa, desde los tiempos muy remotos fueron usuales las construcciones con armazón de madera y relleno de mampostería rústica, arcilla o ladrillos cocidos en hornos. Aun en los casos en que los muros se construían exclusivamente de mampostería, los techos y pisos solían hacerse de madera. En la Fig. 3.8 se reproduce una vivienda de este tipo de Ur, de aproximadamente el año 2 000 a. de J. C. (3.3). Se aprecia la semejanza con sistemas constructivos utilizando hasta épocas muy recientes tanto en las regiones mediterráneas como en Latinoamérica.

Los sistemas a base de armazón de madera y rellenos de diversos tipos persistieron después del neolítico, durante largos siglos. Un ejemplo es el de las viviendas de los vikingos (3.4) como las que se reproducen en la Fig. 3.9.

3.2 MEXICO PREHISPANICO

Las primeras aplicaciones estructurales de la madera en México debieron de seguir un desarrollo semejante al de otras regiones .

En la época preclásica las viviendas eran pequeñas chozas de planta circular, construidas de varas entrelazadas con arcilla y techumbre de paja (3.5). En Sinaloa y Sonora se han encontrado huellas de unas construcciones de épocas más recientes, de proporciones relativamente importantes (3.5 y 3.6). Se trata de viviendas de planta circular con diámetros hasta de 12 metros. La forma era esencialmente cónica. Un agujero en el vértice del cono proporcionaba una salida de humo del hogar. En la Fig. 3.10 se aprecian las características de estas casas "redondas". Otro tipo de construcción con elementos de madera común en el noroeste de México, más reciente, fue el de las llamadas casas largas (3.5, 3.6). Estas viviendas, de planta rectangular, estaban constituidas por una doble cirujía de habitaciones, con un pasillo central (Fig. 3.11).

En las construcciones del apogeo de la civilización teotihuacana predominaron el adobe y la mampostería (3.5, 3.7). Sin embargo, la madera se empleaba como refuerzo de muros y columnas, de la misma manera en que hoy se refuerza el concreto simple con acero (Fig. 3.12-a y b). También se empleaba madera para formar techos planos de vigas de madera, palos redondos y carrizo (Fig. 3.12-c), recubiertos de tierra.

En las viviendas del antiguo Tenochtitlán perduraron los sistemas constructivos de los primeros tiempos: chozas con techos de paja y muros de ramaje entrelazado revestido de lodo.

Menos comunes fueron las construcciones de muros de adobe o mampostería y techos de vigas, varas, y arcilla, al estilo de Teotihuacán. Probablemente hubo construcciones apoyadas sobre postes hincados en el fondo del lago, semejantes a los palafitos del neolítico de los lagos suizos. Una peculiaridad de los sistemas constructivos del Valle de México fue el uso de estacas cortas de madera para cimentar estructuras pesadas sobre los poco resistentes suelos arcillosos propios de la región. Todavía se encuentran restos de estas estacas en las excavaciones que se efectuan en el centro de la actual ciudad de México.

La piedra es el material predominante en las grandes construcciones de los mayas. En algunos casos se usaban piezas de maderas duras para formar los dinteles de las entradas de los templos. Algunas de estas piezas se han conservado hasta nuestros días.

Un ejemplo notable de la persistencia de una forma estructural es el de la choza típica de Yucatán, de planta ovalada, muros encalados formados por varas, ramaje entrelasado y barro, y techo de dos aguas formado con paja u hoja de palmera (Fig. 3.13). Las chozas, de este tipo todavía abundan en Yucatán, son semejantes a las que aparecen representadas en las frisos y pinturas de las poblaciones mayas y en los dibujos de los códices (3.18).

3.3 LA EPOCA CLASICA

Como en otras regiones, en los países mediterráneos los primeros edificios fueron de madera. Esto puede apreciarse en las características de las grandes estructuras de piedra de la Edad de Oro de Grecia que reflejan los elementos constructivos propios de las estructuras de madera, esencialmente la columna y el dintel. Aunque la piedra era el material dominante en los muros de estos edificios, como en el templo de Artemisa en Esparta - (Siglo IX a. de J. C.) y el de Hera en Olimpia (640 a. de J.C.), la madera siguió utilizándose para formar los techos, al igual que en las construcciones más antiguas, por su capacidad para salvar grandes claros. Un ejemplo tipo es el techo del Arsenal de Pireo, cuyas especificaciones se han conservado hasta hoy grabadas en una losa de marmol. En la Fig. 3.14 se muestra una reconstrucción de esta estructura. Se aprecia que los griegos no supieron aprovechar las ventajas de las estructuras trianguladas. Las cubiertas solían consistir en tejas o láminas de marmol apoyadas sobre tablas (3.3).

Durante el siglo VI a. de J.C. los etruscos construyeron templos con muros de ladrillo reforzados con madera, sobre los que se apoyaban techumbres, también de madera.

Entre los romanos las aplicaciones estructurales de la medera comienzan a mostrar ciertos refinamientos técnicos. En la

época de Augusto, Vitruvio, en su tratado "De Architectura", dió recomendaciones sobre las aplicaciones más convenientes de las diferentes especies de árboles, el corte de la madera y su uso en la construcción. ~~En la~~ Fig. 3.15 se representa una reconstrucción del techo de una vivienda toscana basada en una descripción que aparece en la obra de Vitruvio.

Mientras que los griegos se limitaban a usar la madera para columnas y dinteles, los romanos llegaron a utilizar, en forma intuitiva, el principio de la armadura, como en la antigua basílica de San Pablo en Roma, con un claro de más de 23 metros. Las características generales de las basílicas romanas pueden apreciarse en la Fig. 3.16.

La madera fue un material esencial en las construcciones militares de los romanos. Los tramos labrados con sección cuadrada fueron el elemento básico para la construcción de los barracones y empalizadas de los campamentos y fortificaciones.

También fueron notables las aplicaciones de la madera a la construcción de puentes realizadas por los romanos, como podrá apreciarse en una sección posterior.

En general se utilizó menos la madera en los países mediterráneos que en las regiones del norte de europa, tanto por la relativa escasez de bosques, como por la excelencia y abundancia

de materiales pétreos, como los mármoles de Grecia e Italia. En efecto, en las construcciones monumentales se impuso la piedra por su belleza y durabilidad. Sin embargo, en las viviendas ordinarias el uso de la madera persistió como refuerzo de muros de mampostería de ladrillo o adobe, más o menos rudimentarias, y sobre todo, en la construcción de techos.

3.4 LA EDAD MEDIA

La Edad Media es la época del florecimiento del uso de la madera como material estructural. En el norte y el centro de Europa, la madera fue el material predominante en la construcción de viviendas y estructuras menores de todo tipo. La piedra se reserva para las construcciones monomentales. Aun en las regiones mediterráneas donde la madera fue siempre más escasa que en el norte se sigue utilizando la madera como refuerzo de muros y para techar.

Pero fue quizás en las Islas Británicas donde el uso de la madera alcanzó el máximo refinamiento artesanal y artístico. De las rudimentarias chozas de primeros tiempos se derivaron durante la Edad Media diversos sitemas constructivos.

Una primera modalidad peculiar de Inglaterra fue la casa de "crucks" (3.10, 3.12). Los "crucks" eran piezas curvas labradas de de troncos de árboles con la forma apropiada, con la cuales,

partiéndolas por la mitad, se formaba una especie de arco (Fig. 3.17). Estos arcos constituían los elementos resistentes fundamentales. En la Fig. 3.15 se muestran algunos detalles típicos. Para las uniones se utilizan pijas de madera dura. Los muros, que podían ser de carrizos o ramaje barro, no solían contribuir a soportar el techo que se hacía de paja o, menos frecuentemente, de algún otro material. El sistema se empleó durante siglos tanto para viviendas como para graneros, establos y edificios semejantes. Aun hoy perduran algunos ejemplos.

El sistema de "crucks" implicaba un consumo alto de piezas de madera de gran escuadría así como algunas desventajas funcionales. Cuando la madera empezó a escasear, la construcción con "crucks" fue desplazada por sistemas a base de poste y dintel, que requerían menos madera y permitian el uso de piezas de menor sección. Este fue el origen de las típicas construcciones medievales de armazón de madera aparente y muros de relleno de ramaje y barro o algún tipo de mampostería que todavía se conservan en las antiguas poblaciones tanto de Gran Bretaña, como de gran parte de Europa. En la Fig. 3.18 se reproducen ejemplos de esta clase de edificios junto con un detalle de unión típico. En lugar de clavos metálicos todavía poco comunes se recurría al uso de pijas de maderas duras.

En las iglesias y otros edificios de cierta importancia se utilizó mampostería de piedra para los muros, sobre los que se

apoyaba la estructura de madera del techo. Así, los muros asumen la función estructural que en las estructuras de armazón de madera anteriormente descritas correpondían a postes de madera. Fue en la construcción de los techos de estos edificios en los que se combinaba la piedra con la madera don de la inventiva y el sentido artístico de los artesanos ingleses se manifestó en forma más notable.

En la Fig. 3.19 se muestran algunos de los sistemas estructurales comunes junto con algunas aplicaciones representativas.

La madera se utilizó incluso en las iglesias góticas con bóveda de piedra para soportar la cubierta de entarimado y láminas de plomo, cobre o pizarra para protección contra la intemperie. En la Fig. 3.20 se muestra un sistema constructivo típico, con rudimentarias armaduras de madera.

Un uso de la madera durante el medioevo inglés, menos espectacular que algunos de los descritos, pero sin embargo, interesante, fueron los edificios para actividades relacionadas con la agricultura como los reproducidos con la Fig. 3. 21. Muchos de los graneros y establos construidos en Estados Unidos y Canadá desde la época de los primeros colonizadores hasta nuestros días muestran influencias de las antiguas estructuras inglesas.

3.5 EL NORTE DE EUROPA.

En las Islas Británicas la progresiva escasez de madera impuso restricciones a su uso como material de construcción ya en la Edad Media. En las construcciones ordinarias se utilizaba en combinación con mampostería para formar los muros. En las iglesias y palacios los muros eran de piedra y la madera se reservaba para los techos. En los países del norte de Europa, donde no se hizo notar la escasez de madera, la madera siguió siendo el material de construcción por excelencia inlcuso para estructuras de tipo monumental. Las aplicaciones más interesantes son las iglesias de postes ("staves") de los países escandinavos y las iglesias rusas.

El sistema estructural de las iglesias escandinavas que predominó de los siglos XI a XIV, se basaba en el uso de piezas verticales de carga rigidizadas en su parte superior por elementos formando algún tipo de triangulación (3.1). Para encerrar el espacio se utilizaban tablas. Generalmente los postes se apoyaban sobre zapatas de piedras en lugar de estar hincado directamente en el suelo, como en edificios de épocas anteriores, lo que favoreció su durabilidad. Todavía se conservan algunas iglesias de este tipo. En la Fig. 3.22 se muestran las características principales de las iglesias de postes escandinavos.

Otro tipo de construcción de madera propio de la regiones escandinavas fueron los campanarios como los de la Fig. 3.23.

Las iglesias Rusas, se caracterizan por su planta octagonal y las formas caprichosas de sus cúpulas. Los muros solían construirse con troncos horizontales (3.1). Una de las más famosas, es la Iglesia de la Transfiguración, eregida en Kizhi, Karelia, en 1714. En la Fig. 3.24 pueden apreciarse algunas estructuras típicas.

3.6 EL RENACIMIENTO

En los países europeos donde floreció el Renacimiento, sobre todo, en Italia y Francia, aunque la piedra fue el material preferido para los muros y fachadas de las construcciones monumentales, la madera siguió siendo el material más comunmente utilizado para techar. Eran frecuentes los techos artesanados elaboradamente tallados y fue en esta época cuando empezó a adquirir importancia la armadura como sistema estructural para salvar grandes claros (3.13).

En Italia Vasari (1511 - 1574) proyecta una armadura para techar la Galería Uffizi de Florencia Fig. 3.25 y propuso diversos tipos de emplames para unir miembros de madera sometidos a tensión (Fig. 3.26).

Andrea Palladio (1518 - 1580) escribe un tratado sobre arquitectura en que analiza los usos estructurales de la madera. Además desarrolló diversos tipos de armaduras trianguladas tan

to para techos como para puentes (Fig. 3.27).

En 1586 Doménico Fontana (1543 - 1560) (3.3) diseña una ingeniosa estructura provisional de madera para transportar el obelisco desde el Circo Máximo donde fue inicialmente colocado por los romanos hasta su localización actual en la Plaza de San Pedro, en Roma (Fig. 3.28).

En Francia Philibert de L'Orme (1510 - 1570) contribuye al desarrollo de la armadura moderna ideando la manera de aprovechar piezas pequeñas para salvar claros grandes (5.13).

3.7 DEL RENACIMIENTO A LA EPOCA MODERNA.

Las estructuras de madera construidas durante la Epoca - Clásica y el Renacimiento son notables, especialmente si se considera lo limitado de los recursos tecnológicos con que contaban sus creadores. Por una parte las herramientas disponinibles eran rudimentarias. El hacha en sus distintas variantes fue la principal. Otras herramientas usuales fueron el martillo, los escoplos y formones y taladros rudimentarios. Sin embargo, la sierra no fue de uso común hasta el siblo XIX. Los clavos y demás elementos de unión metálicos se utilizaban raramente. Por otra parte no se poseían los conocimientos teóricos y matemáticos requeridos para analizar científicamente el comportamiento de las estructuras; se procedía por intuición, condicio

nada por la experiencia de generaciones de constructores.

En los siglos posteriores al Renacimiento pueden observarse importantes cambios en los usos estructurales de la madera. Con Galileo, Coulumb, Euler, Newton, Young, Hooke y otros se empieza a establecer los principios científicos para el análisis racional del comportamiento de los materiales y de las estructuras. En Francia el Conde de Buffon prueba cientos de vigas de madera para el Ministro de Marina de Luis XV. En 1792, Belidor publica " La Science des Ingenieurs", el primer texto sobre ingeniería con una base científica.

En su obra, Belidor, fundándose en resultados experimentales, propones reglas para dimensionar vigas de madera. Sin embargo, no es sino hasta el siglo XIX cuando se generaliza la aplicación de principios científicos al diseño de estructuras de madera, con lo que se logra un aprovechamiento más eficiente de la madera que conduce a piezas más esbeltas que las típicas en épocas anteriores.

El siglo XIX se caracteriza por la mecanización de la producción industrial, proceso que se refleja en las aplicaciones estructurales de la madera. La industrialización de la fabricación de clavos, que antes se producían por métodos artesanales, hace que estos se vuelvan fácilmente asequibles a costos bajos, lo que simplifica notablemente la unión de piezas de madera. Se

extiende también el uso de tornillos. La sierra en sus diversas formas tiende a reemplazar al hacha y se inicia la producción en serie de piezas de sección estandar por métodos mecanizados. Como consecuencia de estos adelantos técnicos surge ya a mediados del siglo XIX el concepto de prefabricación: en 1854 se exhiben en la Exposición Internacional de Paris unas casas prefabricadas desmontables (3.14).

No obstante todo este avance tecnológico, en el siglo XIX la madera pierde el papel preponderante como material de construcción que hasta entonces había tenido, ante el empuje de nuevos materiales como el acero y el concreto y la introducción de métodos industrializados para la producción de materiales tradicionales como los ladrillos de barro. Sin embargo, como se indicó en la Introducción, sigue siendo un material de construcción de interés considerable por proceder de un recurso natural renovable y porque sus aplicaciones estructurales implican un consumo reducido de recursos energéticos. Además nuevos avances de la tecnología, como el desarrollo de alementos estructurales laminados y de productos industrializados como el triplay han extendido el campo de aplicación de la madera.

Se considerarán aquí únicamente dos casos particulares que ilustran cómo ha evolucionado el uso de la madera en los últimos tiempos: Estados Unidos y Canadá, que han tenido un desarrollo semejante, y México, donde las experiencias con la madera como material estructural han sido muy diferentes.

En aras de la brevedad no se comentan otras experiencias interesantes como la de los países escandinavos, donde la continuada abundancia de la madera sigue haciendo de ella un material preferido, o como Inglaterra y Alemania, donde a pesar de su relativa escasez es todavía un material competitivo gracias a los refinamientos técnicos con que se utiliza.

3.7.1 Estados Unidos y Canadá

Mientras que en Europa, en general, a partir del Renacimiento, el uso de la madera tiende a decaer a medida que disminuyen los recursos naturales y aparecen nuevos materiales de construcción, en los Estados Unidos, la madera conserva considerable importancia hasta nuestros días, especialemente en la producción de viviendas.

Se mencionó en la sección 3.1 el papel que desempañaron las casas de troncos en la colonización de gran parte de los Estados Unidos y Canadá. Los edificios de aramazón de madera y rellenos de mampostería construidos por los primeros pobladores del este de los Estados Unidos reflejan la influencia de los sistemas de construcción ingleses. En el siglo XVIII se introduce una innovación: desaparece el relleno de mampostería y en su lugar se emplea un forro de tablas ligeras ("clapboard") traslapadas una sobre otra.

En la Fig. (3.29) reproduce una casa de armazón de madera ("Frame house") revestimiento de tablas de madera, del tipo usual en Nueva Inglaterra y otras regiones de los Estados Unidos.

Otra innovación que tuvo gran trascendencia fue el sistema de construcción conocido como "construcción Chicago", por el lugar donde se inició o de "armazón de globo" ("balloon frame"), por su ligereza (3.13). El sistema, que fue desarrollado alrededor de 1830, es una forma evolucionada de las casas de armazón ("frame houses") de Nueva Inglaterra, en la que las piezas robustas de éstas son sustituidas por piezas ligeras de sección estandar, unidas por clavos y dispuestas a distancias relativamente pequeñas. En la Fig. 3.30 pueden apreciarse las características de estas estructuras.

Fue la introducción de la fabricación en serie de clavos lo que determinó el éxito del sistema de "armazones de globo". Su sencillez y ligereza hizo que su uso se extendiera por todas las regiones del norte del continente.

Una consecuencia del éxito de la construcción de "armazón del globo" fue el desarrollo de la industria de viviendas prefabricadas de madera. En los Estados Unidos existían ya en 1860, varias empresas que enviaban por componentes prefabricados para viviendas por ferrocarril. Para 1880 la prefabricación de edificios de madera diversos tipos se había convertido en una gran industria, cuya importancia ha seguido creciendo hasta nuestros

días. La modalidad más reciente a la que corresponde un volumen de producción considerable, es la vivienda móvil ("mobile home"), totalmente construida en fábricas desde donde se transportan por carretera en plataformas hasta el lugar donde la requiera el usuario.

El único otro grupo de países donde la prefabricación de estructuras de madera ha adquirido una importancia significativa es el de los países escandinavos, que exportan sus productos a Inglaterra, Japón y otras regiones.

3.7.2 México

Los colonizadores ingleses que llegaron a América procedían de un país con una gran tradición en los usos estructurales de la madera y se encontraron con una región de abundantes recursos forestales. El que la madera fuera durante años el principal material de construcción fue consecuencia natural de estas circunstancias.

A su llegada a México los españoles también tuvieron a su disposición importantes recursos forestales. Sin embargo, en su país de origen, el uso de la madera, por su escasez, no estaba tan arraigado como en Inglaterra: en la construcción predominaba la mampostería y la aplicación de la madera solía estar restringida al refuerzo de muros y la formación de distintas modalidades

de techos y pisos. Por otra parte, se encontraron con una cultura en que las estructuras monumentales eran de piedra mientras que el uso de la madera por regla general estaba restringido a la construcción de las viviendas más modestas. Dadas estas condiciones fue natural que los edificios que levantaron los colonizadores españoles reflejaran las técnicas constructivas de un país de origen, tanto por tradición, como para aprovechar la experiencia en la cosntrucción con piedra de los habitantes. Así en las construcciones importantes de la colonia predomina la mampostería en los muros y en las bóvedas, mientras que para los pisos y algunos techso se utilizan grandes vigas de madera que soportan diversos materiales. En la Fig. 3.31 se ilustran algunos usos de la madera en estructuras de la época de la Colonia. Estos sistemas constructivos perduran hasta bien entrado el siglo XIX, cuando se introduce el acero como material estructural.

En la arquitectura popular la madera llega a adquirir cierta importancia en algunas regiones. Un sistema constructivo todavía muy utilizado para techos y pisos es el de la llamada "bóveda catalana", consistente en vigas que soportan dos o más capas de ladrillos unidos con mortero de yeso Fig. 3.32.

Otro sistema es el de los techos de "terrado", en los que las vigas sostienen un entarimado sobre el que se coloca una capa de tierra protegida por un enladrillado (Fig. 3.33). Dados

sistemas se utilizan en combinación con muros de mampostería de diversos tipos. En algunas regiones la madera se utiliza como único material, aunque en forma bastante rudimenaria. ESto es usual en las casas de tablas de los estados de Veracruz, México y otros (Fig. 3.34). En algunas regiones las casas se construyen de troncos con techos de tejamanil o lámina. De este tipo son las viviendas de la Sierra de Puebla, que recuerdan las cosntrucciones semejantes de los países del norte del continente (Fig. 3.35). Las chozas yucatecas se mencionaron en la sección 3.2.

Una aplicación notable de la madera en la construcción de viviendas que demuestra un refinamiento artesanal mayor que el de los ejemplos citados es el de las casas de Michoacán (Fig. 3.36).

3.8 LA EVOLUCION DE LOS PUENTES DE MADERA

Desde tiempos remotos los puentes han sido uno de los campos de la ingeniería estructural en que la madera ha encontrado aplicaciones más interesantes.

Los primeros puentes probablemente consistieron en troncos de árboles tumbados sobre un arroyo o un barranco (Fig. 3.37). Una variante interesante es la construcción en voladizo (Fig. 3.38), utilizada por los galos y los chinos de la antigüedad.

Para salvar claros mayores que los posibles con los troncos se desarrollaron armaduras sencillas. En la Fig. 3.39 se ilustra la forma en que quizás evolucionaron, de manera intuitiva, las primeras aramaduras para puentes.

Los romanos construyeron puentes de madera de considerable importancia. Tito Livio menciona un puente sobre el Tiber, el Pons Sublicius, construido, probablemente, de vigas de madera apoyadas sobre pilas de mampostería, que fue destruido por los romanos en el siglo VII a. de J. C., para detener el avance de los etruscos sobre Roma (3.3, 3.11).

Para su invasión de Alemania, Julio Cesar tendió un puente de caballetes y vigas sobre el Rin, con una longitud total de unos 400 metros, en el breve plazo de diez días (Fig. 3.40) Más interesante desde un punto de vista estructural, fue el puente construido sobre el Danubio por Apolodoro de Damasco, en en año 99 d. de J. C., durante el reinado de Trajano (3.15). Las características generales de este puente pueden deducirse de un detalle grabado en la Columna de Trajano (Fig. 3.41). Apolodoro aprovechó el principio de la triangulación para formar armaduras de madera apoyadas sobre arcos también de madera. El ancho de la de la calzada era de aproximadamente 6.60 metros y la longitud total del puente, unso 1 200 metros divididos en veinte tramos. Las pilas sobre las que se apoyaban la estructura de madera eran de mampostería.

En el Renacimiento, Palladio, que ya fue mencionado en la sección 3.6 en relación con el uso de armaduras para techar, aplicó este tipo estructural a la construcción de un puente sobre el río Cismone con características muy parecidas a las de algunos puentes de armaduras modernos (Fig. 3.27-a). Anteriormente había proyectado un puente de largueros sobre el río Brenta, cerca de Bassano (Fig. 3.42). Las vigas tenían un claro de unos 11 metros y se apoyeban sobre caballetes de madera. Como refuerzo contaban con unos puntales inclinados en los extremos (3.13).

Durante el siglo XVIII los suizos construyeron una serie de puentes de madera, algunos de ellos con claros muy notables. En estas estructuras se recurrió a armaduras triangulares. Sin embargo, como aun no se tenía una idea clara de los principios de la triangulación, las armaduras se combinaban con arcos, una forma estructural de eficacia comprabada a través de la experiencia acumulada durante siglos de aplicación en la construcción de obras de mampostería. Otra característica de estos puentes fue el empleo de cubiertas como protección contra la acción de la intemperie, no sólo de los usuarios, sino también de las conexiones, la parte más vulnerable de las estructuras de madera. El ejemplo más notable fue el puente construido en schaffhausen por un carpintero, Ulrich Grubenmann, con un claro de más de 120 metros, quizás uno de los mayores jamás alcanzado con una estructura de madera (3.15).

En Inglaterra todavía en el siglo XIX se construyeron algunos puentes de madera sobre todo para ferrocarril. I. K. Brunel (3.15), desarrolló un sistema de vigas apuntaladas por abanicos desplantados sobre pilas de mampostería (Fig. 3.43) y otro a base de aramaduras ligeras. Sin embargo, en general el uso de la madera para estructuras es poco frecuente en Europa en épocas recientes. Esto puede atribuirse a la disminución gradual de las reservas forestales, al desarrollo de otros usos de la madera de mayor interés económico y a la introducción de nuevos materiales de construcción.

En los Estados Unidos, por el contrario, la madera, por su abundacia, sigue siendo el material preferido para la construcción de puentes hasta bien entrado el siglo XIX. A pesar de que los primeros puentes fueron proyectados por métodos empíricos los constructores americanos lograron soluciones de gran ingenio con las que salvaban claros importantes.

Los primeros puentes americanos fueron de vigas o arcos sobre caballetes de pilotes de madera. Pronto se empezaron a emplear armaduras trianguladas, combinadas de alguna forma con arcos, que según algunos autores (3.16) estuvieron inspirados en las ideas de Palladio. (El primer puente de aramaduras americano se construye en 1764, viente años después de la primera edición inglesa del "Tratado sobre la Arquitectura" de Palladio). La desconfianza con que al principio se utilizaron las armaduras recuerda los sistemas estructurales suizos. El uso de cu-

biertas de madera fue práctica muy extendida que quizás tuvo su origen en las realizaciones de los constructores de puentes suizos.

En la Fig. 3.44 se muestran tres puentes famosos con sistemas estructurales de arco y armadura, de principios del siglo XIX, proyectados respectivamente por Palmer, Wernwag, parece que no ha sido sobrepasado en América hasta la fecha con una estructura de madera. Puentes cubiertos semejantes, aunque de claros menores, subsisten aun hoy en muchas regiones del este de los Estados Unidos.

Como se ha visto, las primeras estructuras de puentes combinaron el principio del arco y la armadura. En 1820 Ithiel Town patentó un sistema estructural en que se prescindía del principio del arco, lo que eliminaba los empujes horizontales sobre los estribos. Consistía este sistema en la superación de una serie de armaduras trianguladas formadas por tablas relativamente ligeras unidas con clavos (Fig. 3.42). El sistema, con el que se alcanzaron claros hasta de 60 m, tuvo mucho éxito en la construcción de puentes para ferrocarril (3.13, 3.17).

Otro sistema de puente de armadura, más parecido a los sistemas utilizados recientemente fue el patentado por Long en 1830 (3.17). Las cuales estaban formadas por dos o más tablones entre los cuales se colocaban los extremos de las piezas del alma (Fig.

3.46).

En 1840 W. Howe (3.15, 3.17) patentó un sistema en que utilizaba hierro forjado para los miembros verticales y madera para los demás elementos(Fig. 3.47-a). Poco después T. y C. Pratt patentaron un sistema semejante en que el hierro forjado se utilizaba para los miembros diagonales (Fig. 3.47-b).

El primero en aplicar principios científicos al diseño de puentes de madera fue Squire Whipple que publicó un folleto sobre el tema en 1847. Le siguió poco después Haupt, que publicó una obra de alcance parecido en 1851 (3.17). Sin embargo, los métodos formales de la estática para el análisis de la armadura no fueron desarrollados en su forma completa, sino hasta finales del siglo XIX , por Ritter, Clark Maxwell, Culmann, Mohr y Bow.

El siglo XIX, es el siglo de los ferrocarriles. Una de las cosas que hizo posible la rápida expansión de la red de líneas fue el desarrollo de los puentes de caballetes de madera (3.17). Un ejemplo famoso fue el Viaducto de Portage en el Ferrocarril Erie, con una altura de más de 20 metros, construido en 1851, en un plazo de un año (Fig. 3.48). Estructuras semejantes todavía se siguen utilizando.

En los Estados Unidos, a pesar de que en años recientes el

acero y el concreto han pasado a ser los materiales preferidos para la construcción de puentes, la madera continúa desempeñando un papel significativo. Han contribuido a mantener a la madera como material económicamente competitivo, el desarrollo de la madera laminada, el mejoramiento de los tratamientos para aumentar la durabilidad de la madera y el empleo de métodos de prefabricación. En los parques de los Bosques Nacionales de los Estados Unidos se encuentran en servicio más de 7 500 puente de madera. La longitud total de los puentes hechos de madera de las compañías de ferrocarril es superior a 2 400 kilómetros. Los puentes comúnmente usados para ferrocarriles son a base de madera laminada con claros del orden de 50 metros, como el Keystone Wye, en South Dakota (Fig. 3.48). Sin embargo, donde con mayor frecuencia resulta competitiva la madera es en claros inferiores a 30 metros en carreteras de segundo orden, de tránsito poco intenso. El sistema estructural más utilizado es es de caballetes, soportando largueros con diversos sistemas de piso. En el Canadá el uso de la madera para puentes está aún más extendido.

REFERENCIAS

3.1 Hans Jürgen Hansen, editor "Architecture in Wood", The Viking Press, Nueva York, 1971.

3.2 Amos Rapoport, " House Form and Culturse", Prentice Hall, Eglewood Chiffs, M. J. 1969.

3.3 G. E. Sandström, " Man the Builder", Mc Graw-Hill. Nueva York, 1972.

3.4 Bertil Almgram, editor, "The Vikings", The tryekare, Gotemburgo, 1966.

3.5 H. Ceballos Lascurain "La prefrabricación y la vivienda en México" Centro de Investigaciones Arquitectónicas, UNAM México, 1974.

3.6 Vicente Riva Palacio Et al "México a través de los siglos", Tomo I, "Historia antigua y de la Conquista". Publicaciones Herrerías, México , D. F. , 1889.

3.7 G. C. Vaillant, "La Civilización Azteca", Fondo de Cultura Económica, México , 1973.

3.8 L. Kalm (editor), "Shelter", Shelter Publications, Bolines, California, 1973.

3.9 J. P. Duntrield, " Log Cabin Construction", 2 nd ed., publicado por el autor, 3333 Sotuhgote Road, Othawa, Canadá, KIV 7 y 3, 1974.

3.10 F. H. Crossley, " Timber Building in England", Bats ford, Londres, 1951.

3.11 Beriter Fletcher " A History of Architecture"(Eighteenth) Edition), The Athlome Press, Londres,1975.

3.12 L. W. I son, " English Architecture Through the Ages", Authur Parker Limited, Londres, 1966.

3.13 Bekkett.

3.14 J. A. Fernández Ordónez, " Prefabricación : teoría y práctica", Editores Técnicos Asociados S. A. 1974.

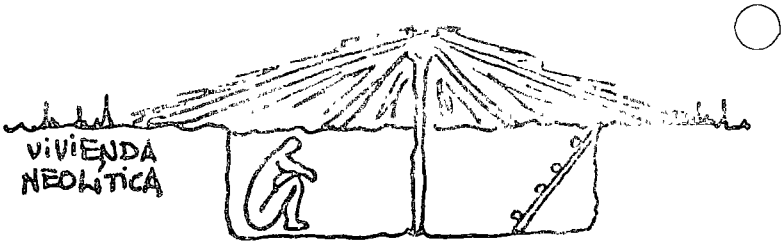
3.15 A Span of Bridges

3.16 Richard Sanders Allen, "Covered Bridges of The Northeast" revised edition The Stephen Press, Brattlelboro , Velmont, 1974.

3.17 J. Kip Finch, " The Story of Engineering", Doubleday and Co., Garden City, N. Y., 1960.

3.18 "La habitación rural", Instituto Nacional de la Vivienda ", México, 1969.

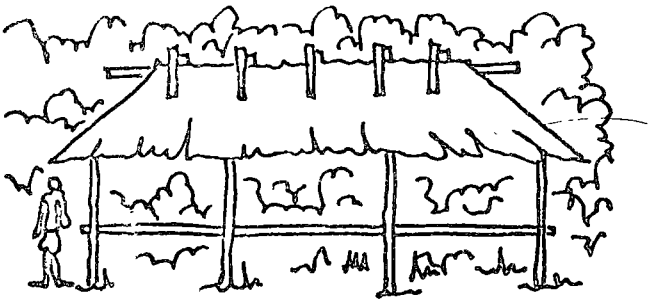
REFUGIO DE RAMAS CONTRA UN ACANTILADO



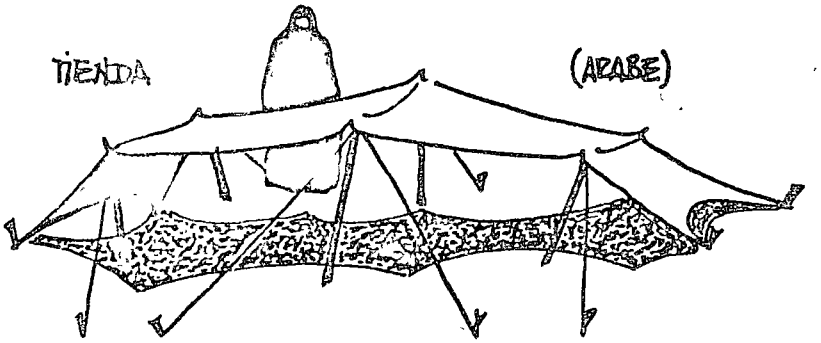
VIVIENDA NEOLÍTICA

CHOZA MASÁI (ÁFRICA)

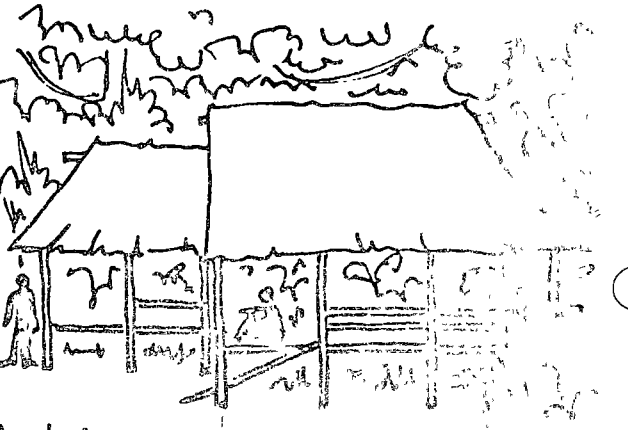
VIVIENDA DE LOS SEMINOLAS (FLORIDA)



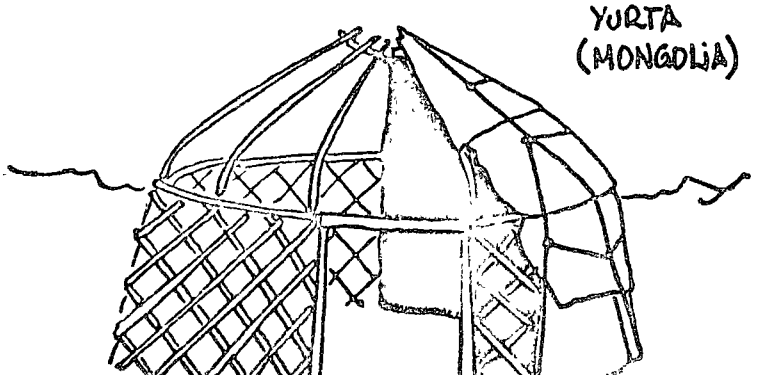
TIENDA (ARABE)

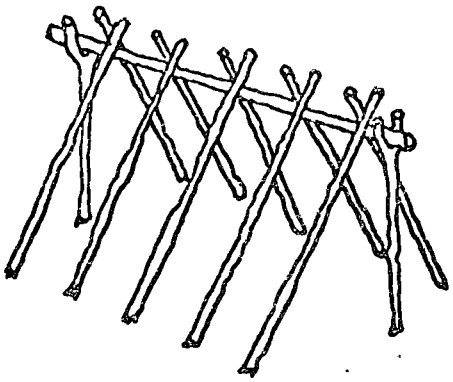


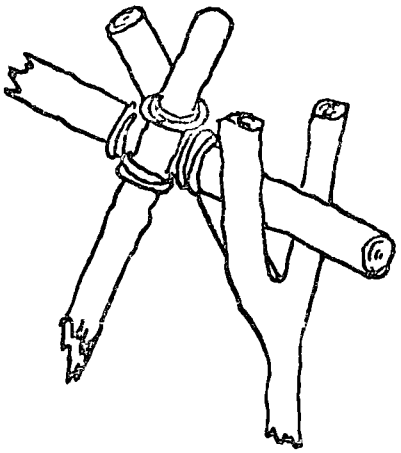
VIVIENDA EN LAS MARQUESAS



YURTA (MONGOLIA)

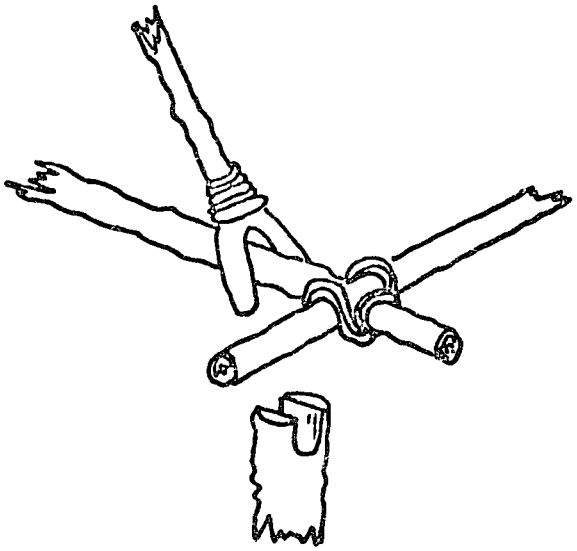


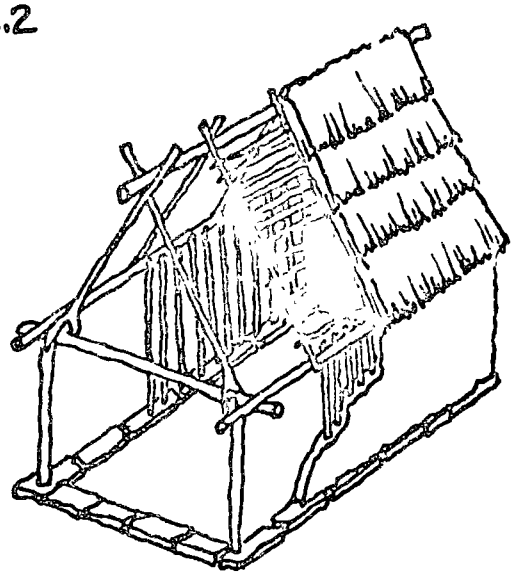


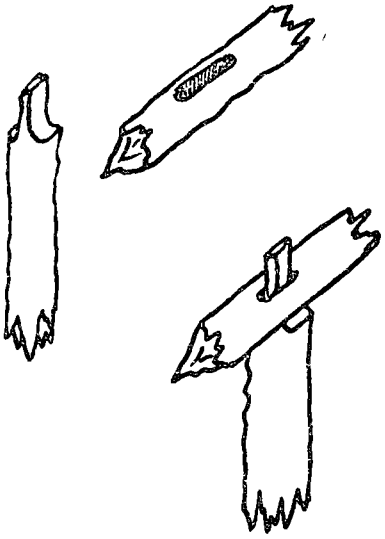


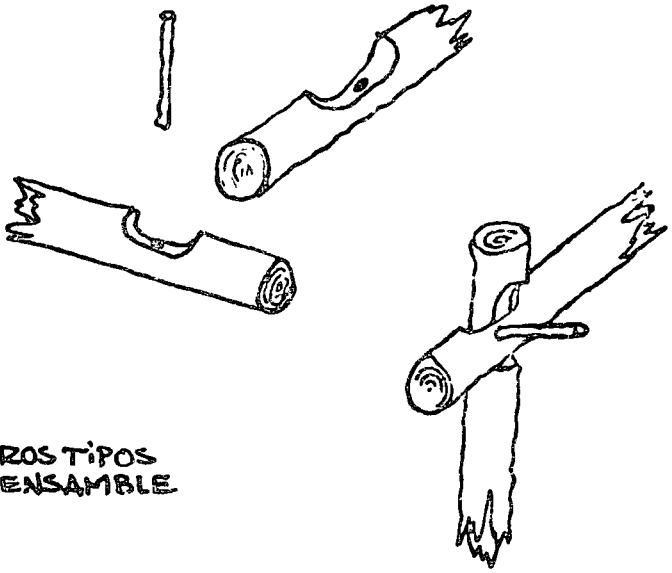
UNIONES TÍPICAS EN
VIVIENDAS PRIMITIVAS

FIG 3.2









OTROS TIPOS
DE ENSAMBLE

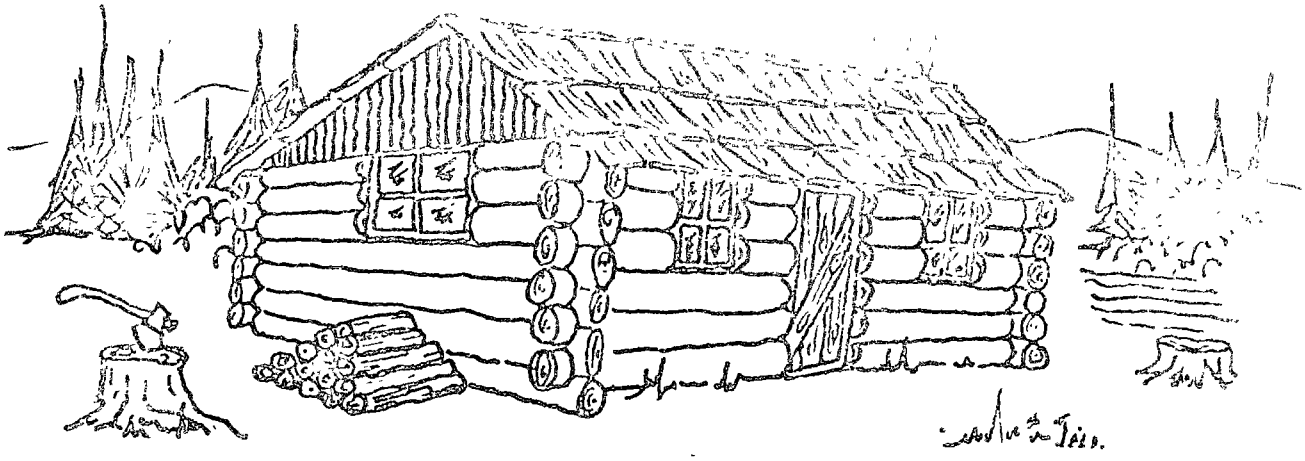
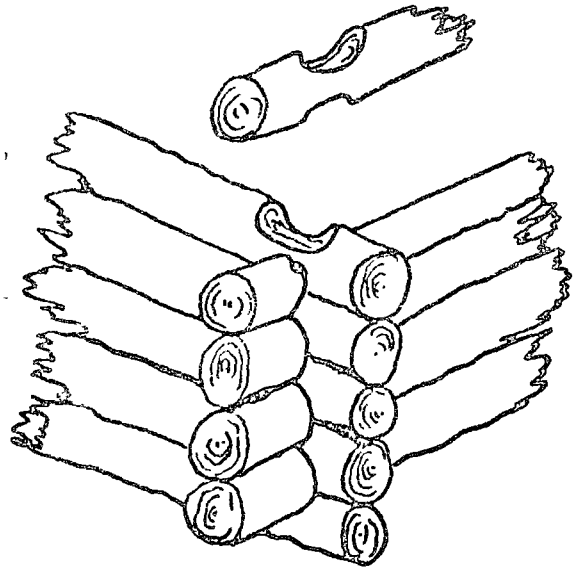
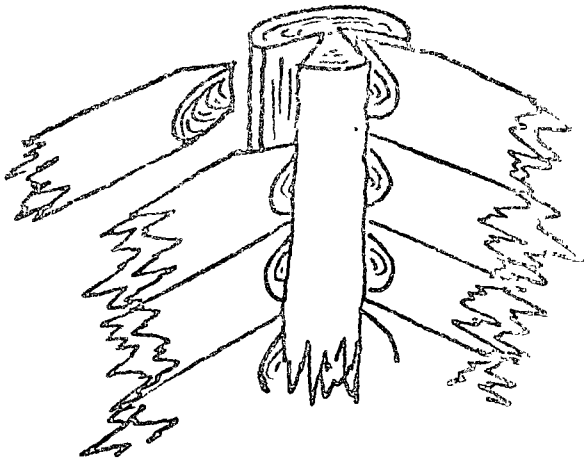
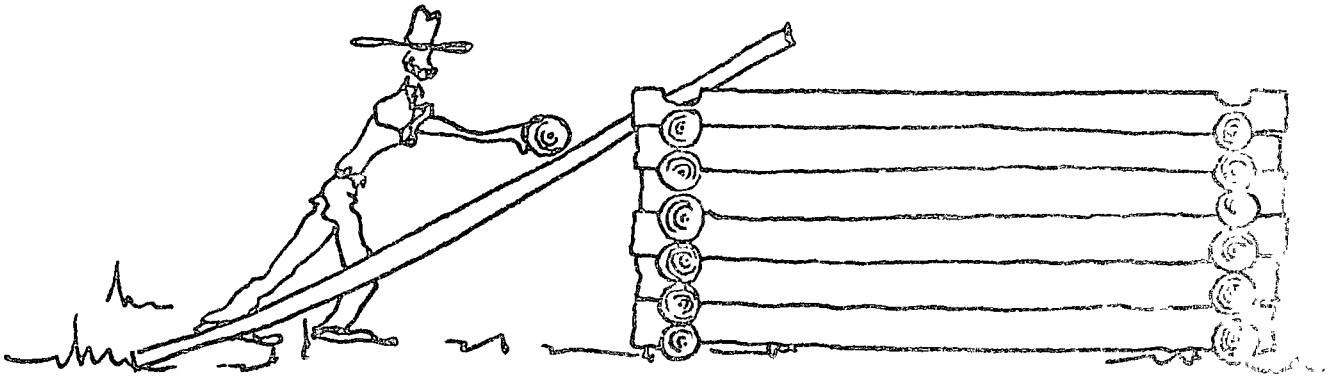


FIG. 3.3





OTRO TIPO DE UNION



SISTEMA CONSTRUCTIVO

Fig. 3.4.

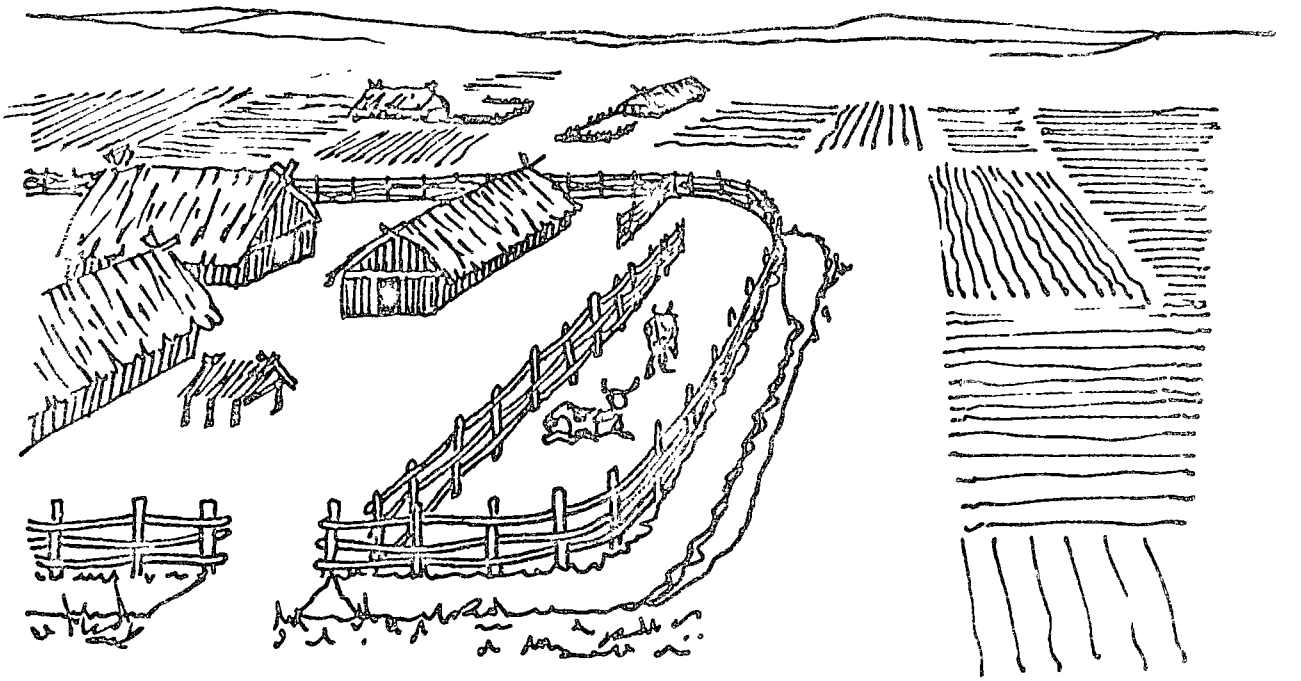


FIG. 3,5 POBLADO NEOLÍTICO DE KÖLN- LINDENTHAL (4200 a C)

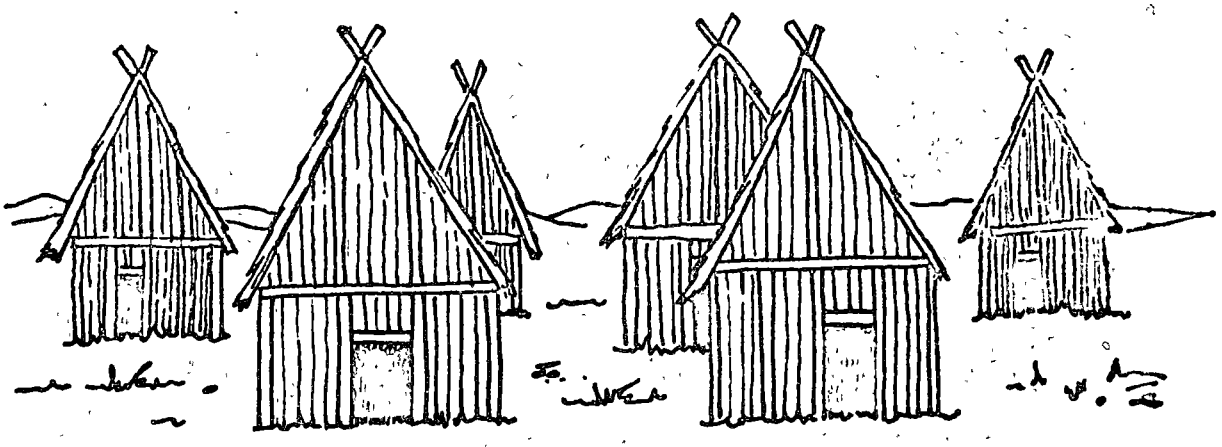


FIG. 3.6 VIVIENDAS EN AICHBÜL (WURTEMBERG) 1100 a.C.

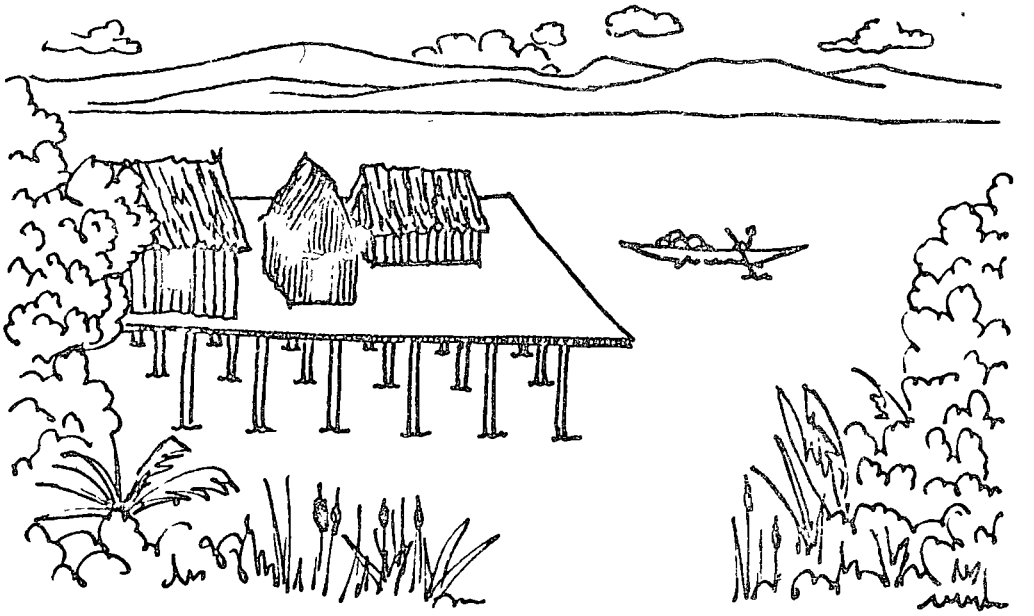


FIG. 3.7 CONSTRUCCIONES PALAFÍTICAS

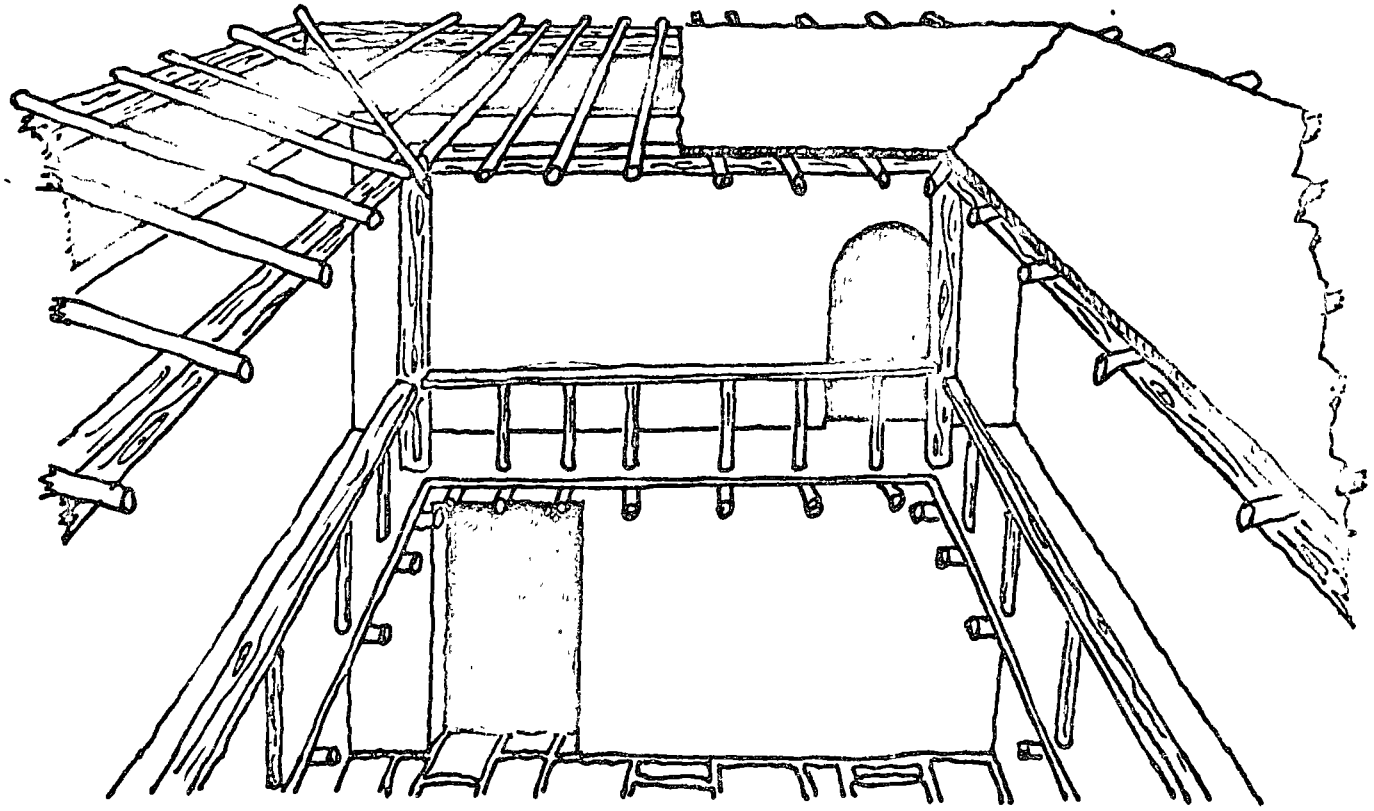


FIG. 3,8 PATIO DE UNA VIVIENDA DE UR

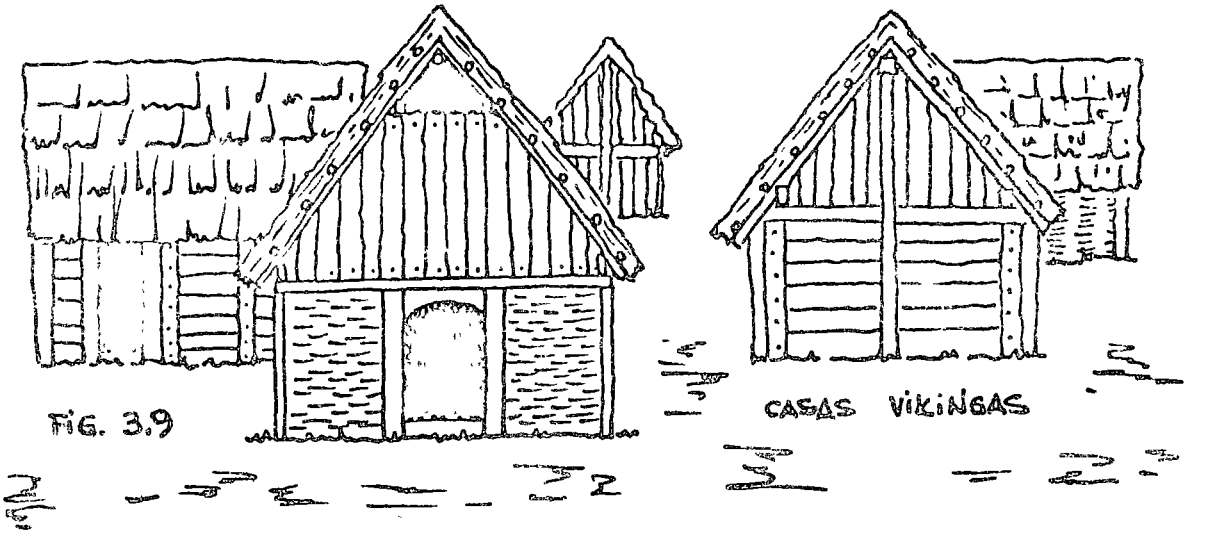


FIG. 3.9

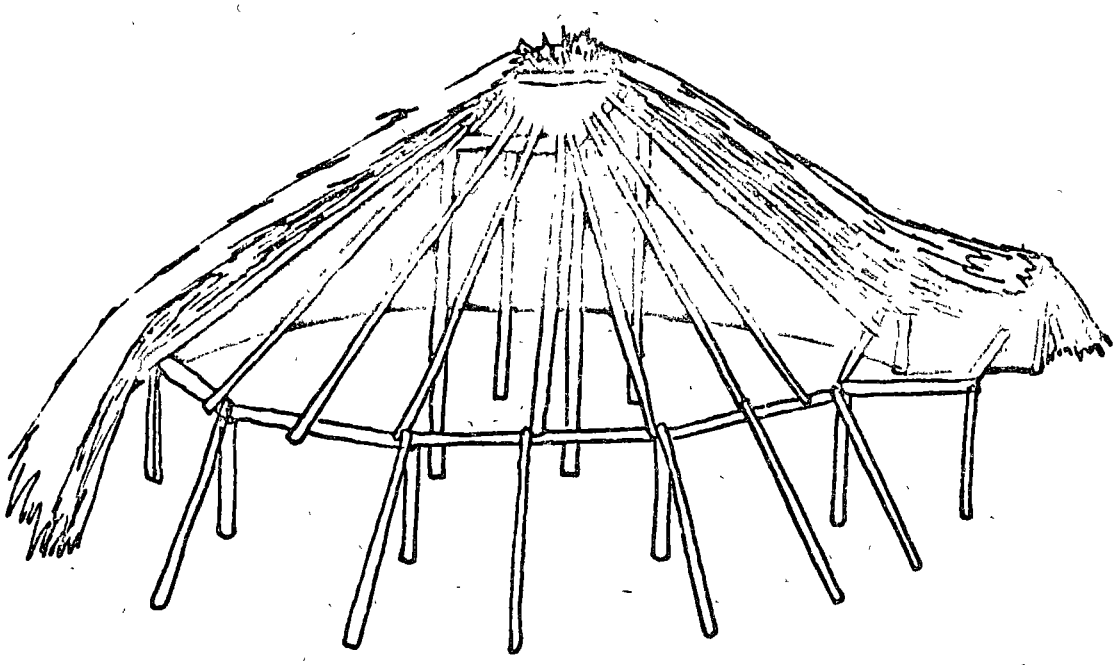


FIG 3.10 CASA "REDONDA" DEL NOROESTE DE MEXICO

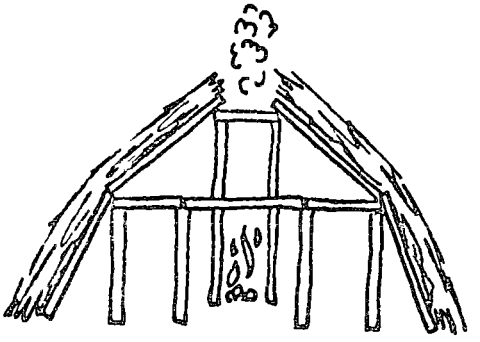


FIG. 3.10 CASA "REDONDA"

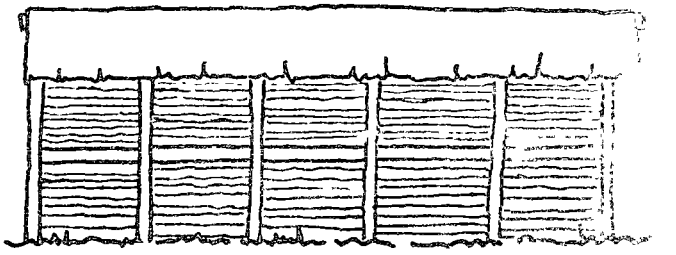


FIG. 3.11 CASA "LARGA"

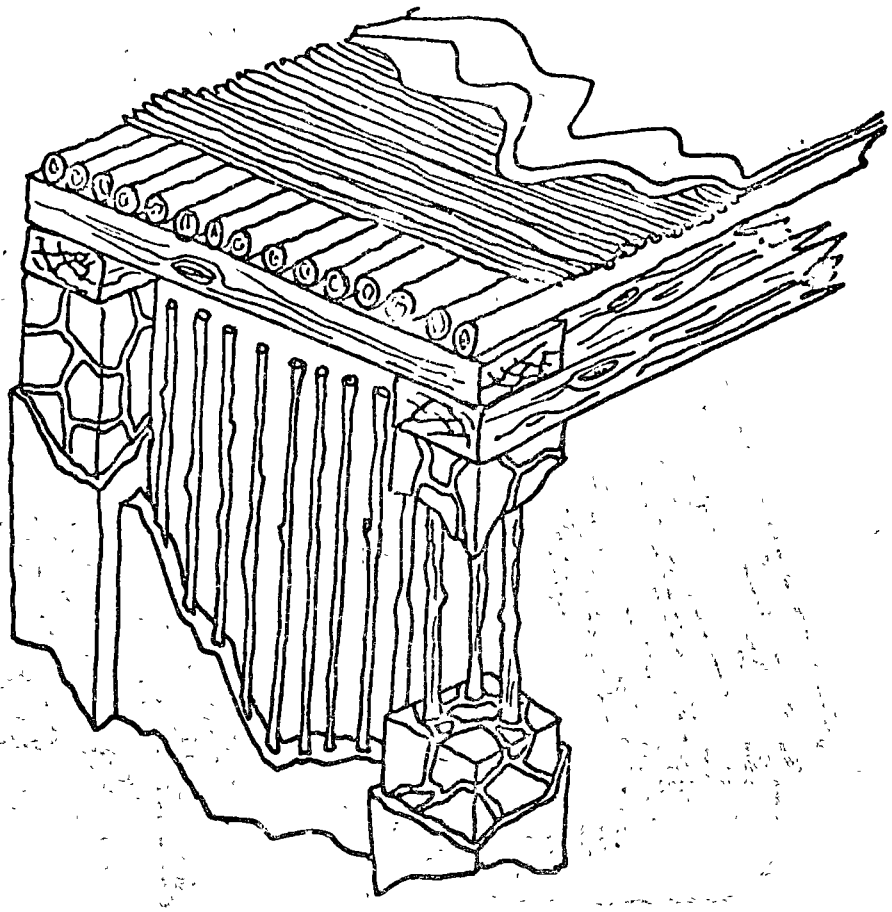


FIG 3.12

USO DE LA MADERA EN LOS SISTEMAS CONSTRUCTIVOS TEOTIHUACANOS

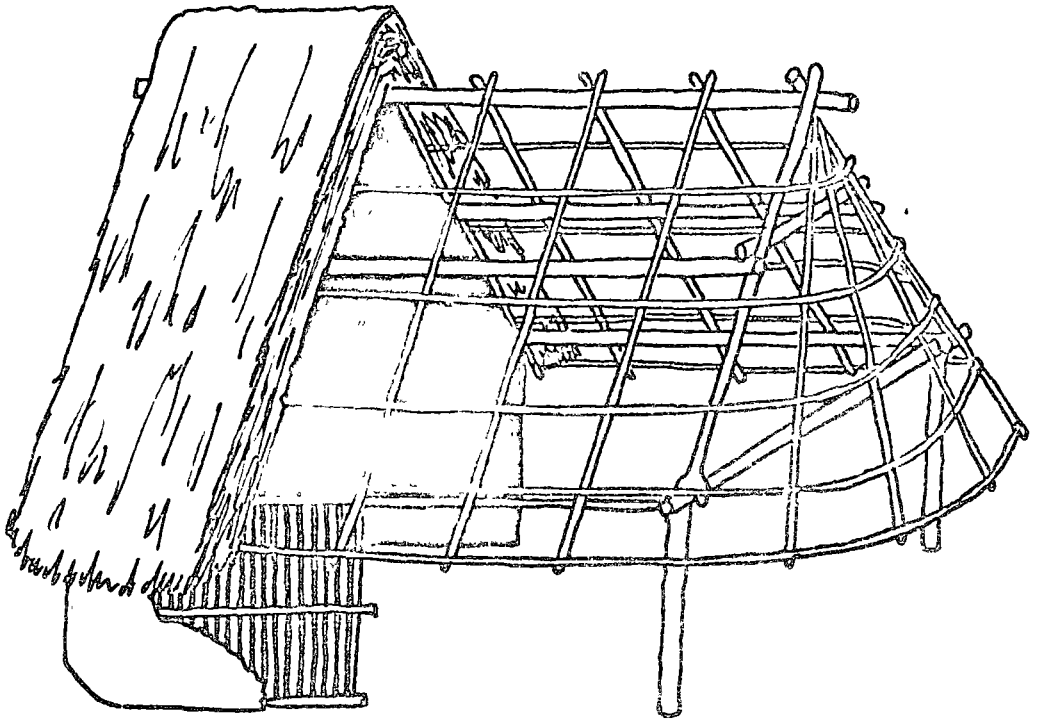


FIG. 3.13 CHOZA MAYA

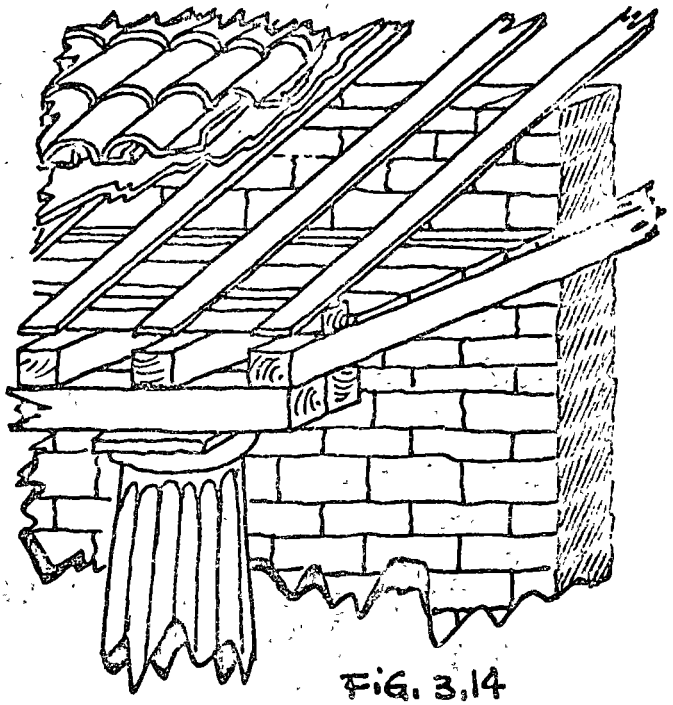


FIG. 3.14

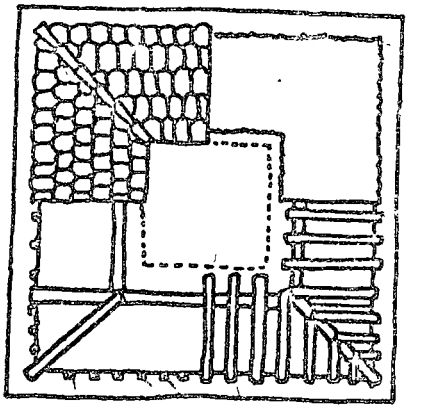


FIG. 3.15 ESTRUCTURA DEL TECHO DE UNA CASA TOSCANA (VITRUVIO)

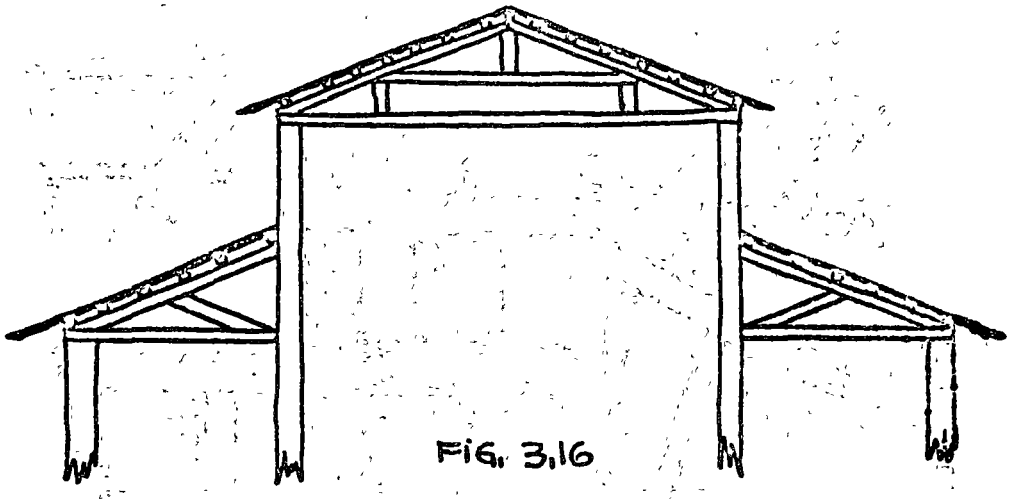
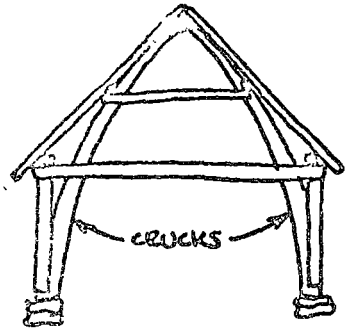


FIG. 3.16

TECHO DE MADERA TÍPICO DE UNA BASÍLICA



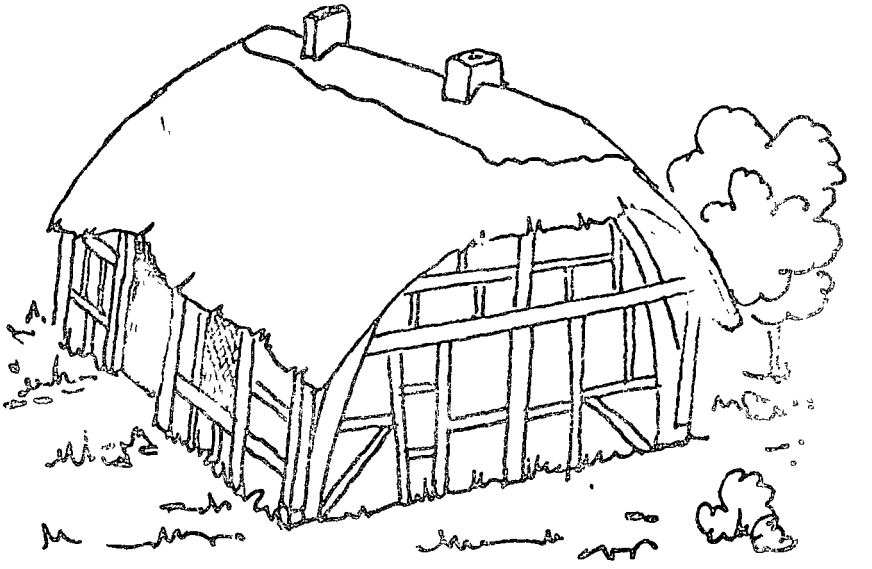
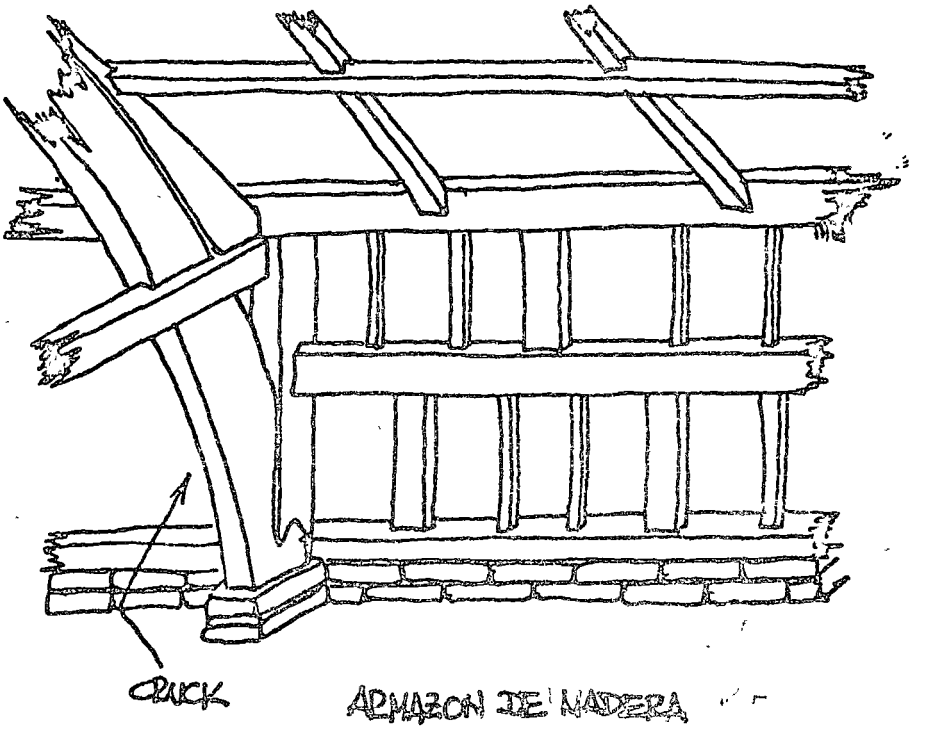


FIG. 3.17
CASA INGLESA DE CRUCKS



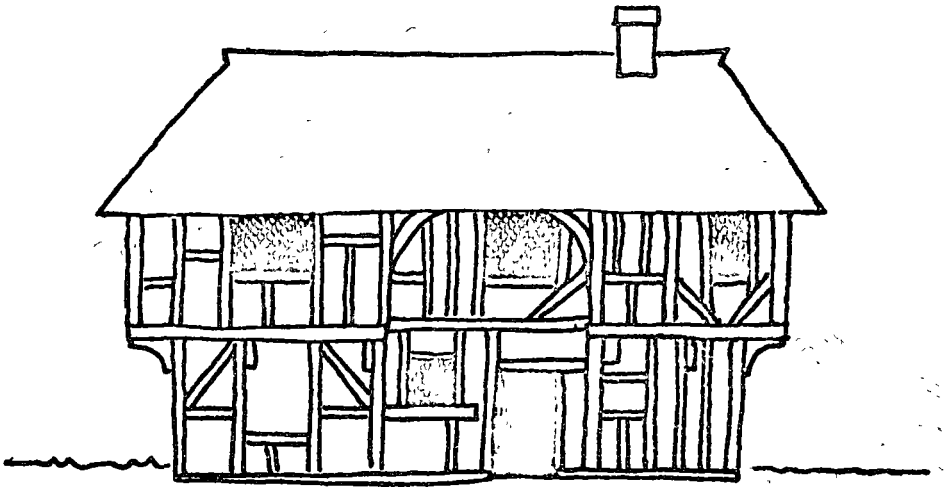
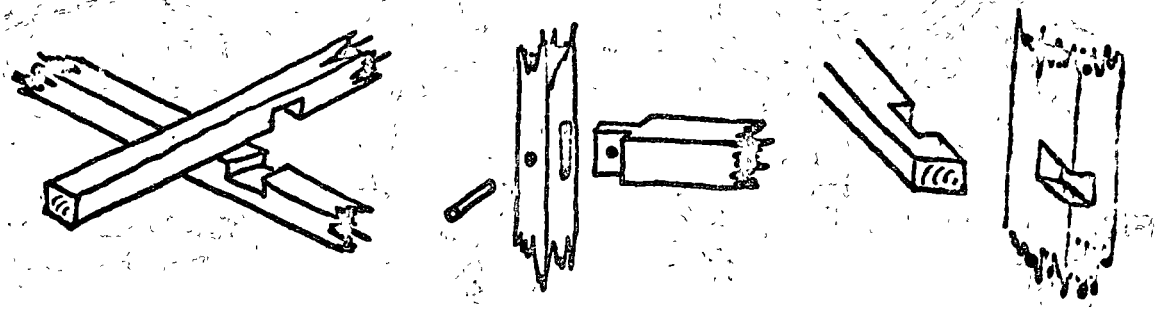


FIG. 3,18 CASA MEDIEVAL CON ARMAZÓN DE MADERA



UNIONES

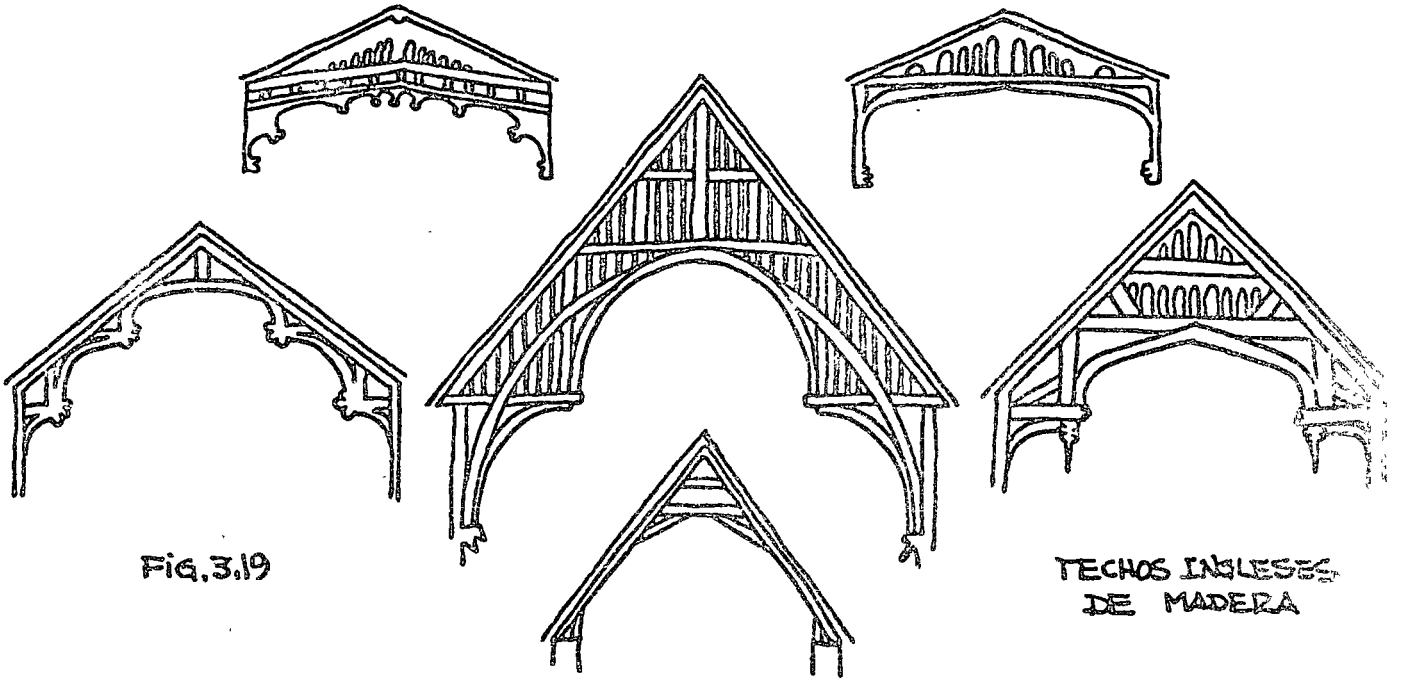


FIG. 3.19

TECHOS INGLESES DE MADERA

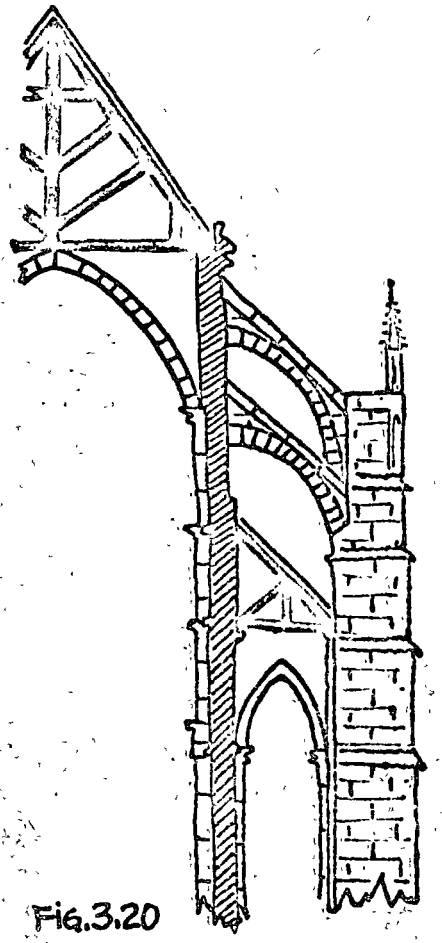


Fig.3.20
CUBIERTA DE MADERA
EN IGLESIAS GOTICAS

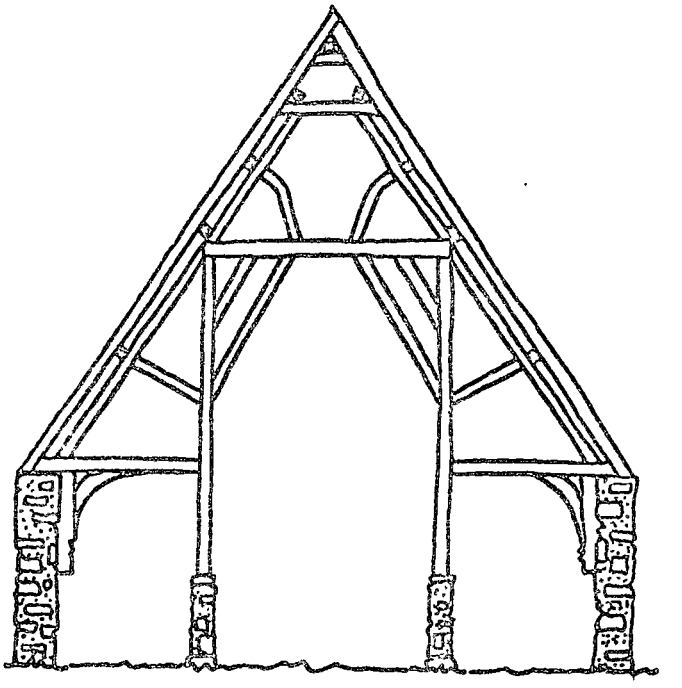


FIG. 3,21 GRANERO INGLES

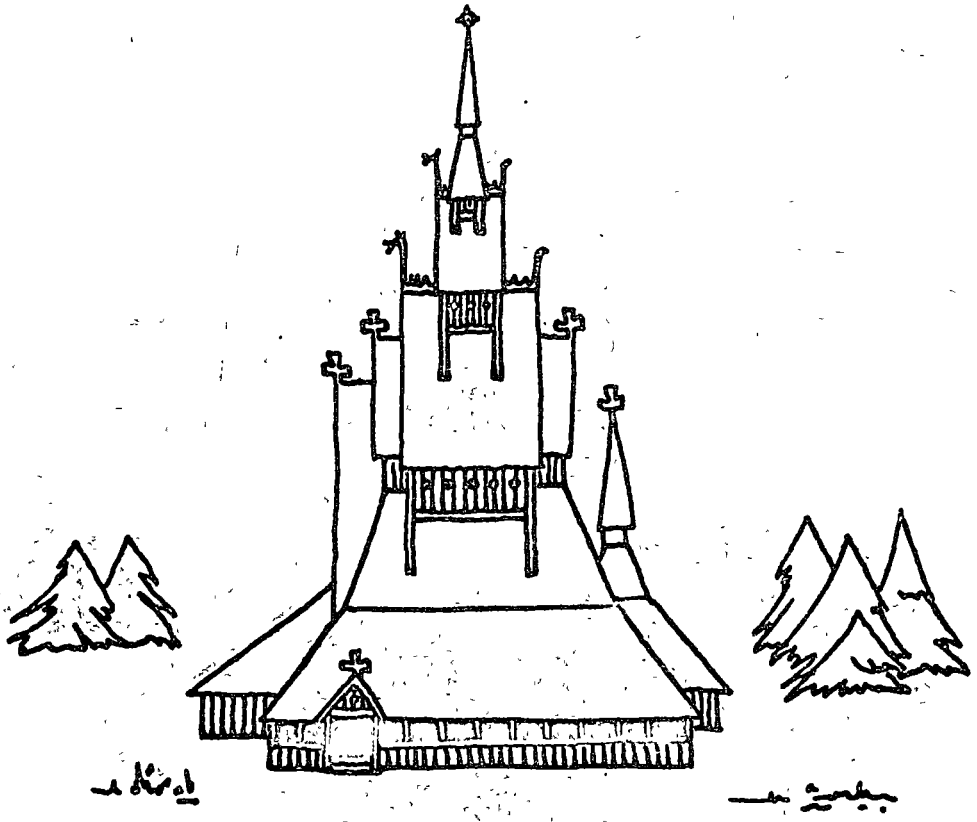


FIG. 3.22 IGLESIA NORUEGA

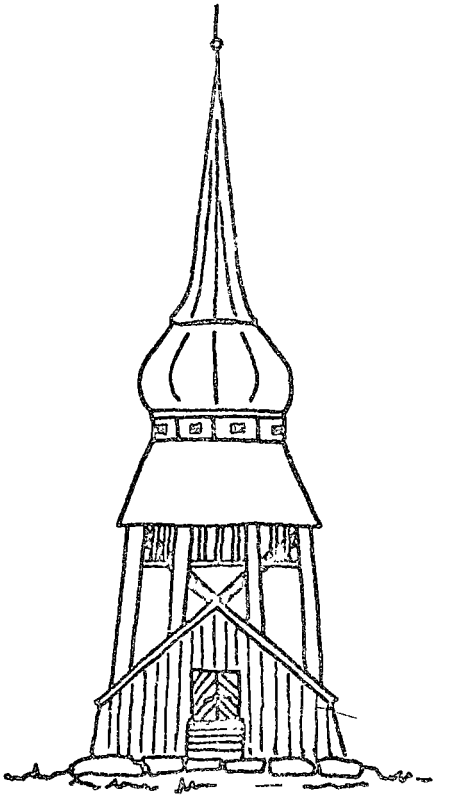


FIG. 3.23
CAMPANARIO SUECO

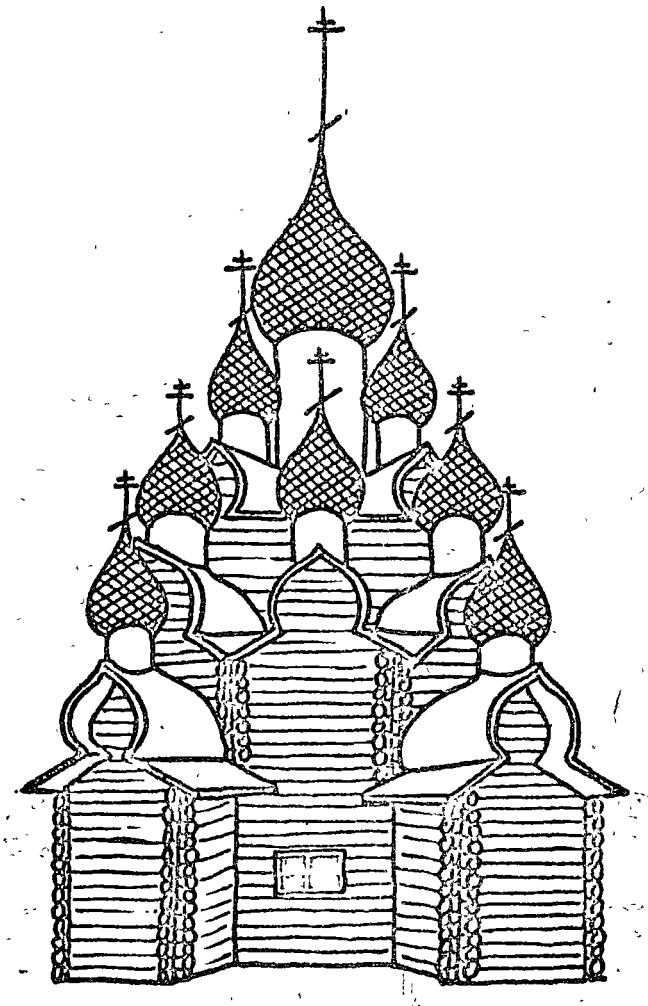


FIG. 3.24 IGLESIA RUSA

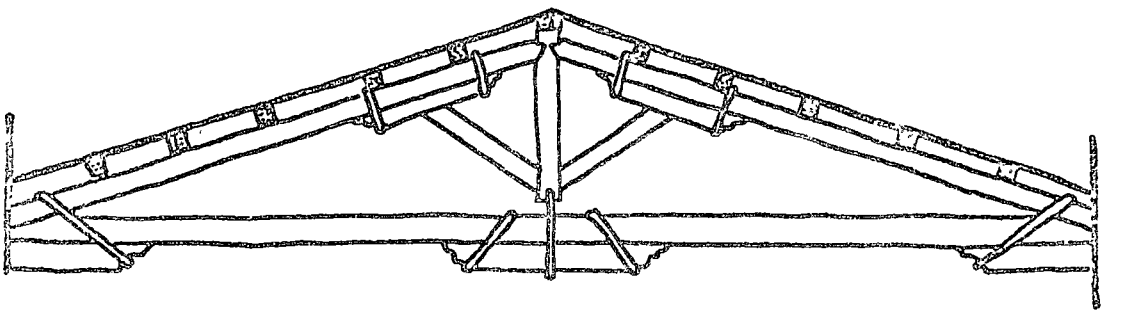


FIG. 3.25 ARMADURA PROYECTADA POR VASARI PARA EL TECHO DE LA GALERÍA UFFIZI, FLORENCIA.

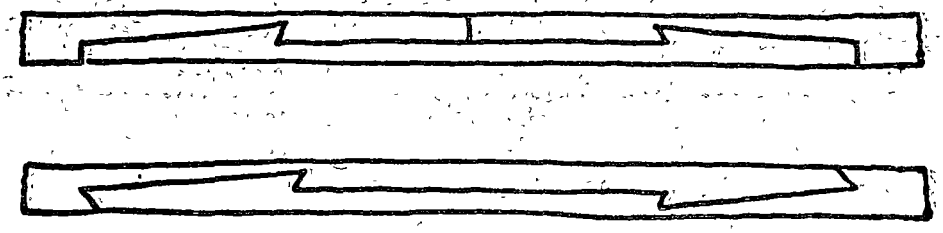
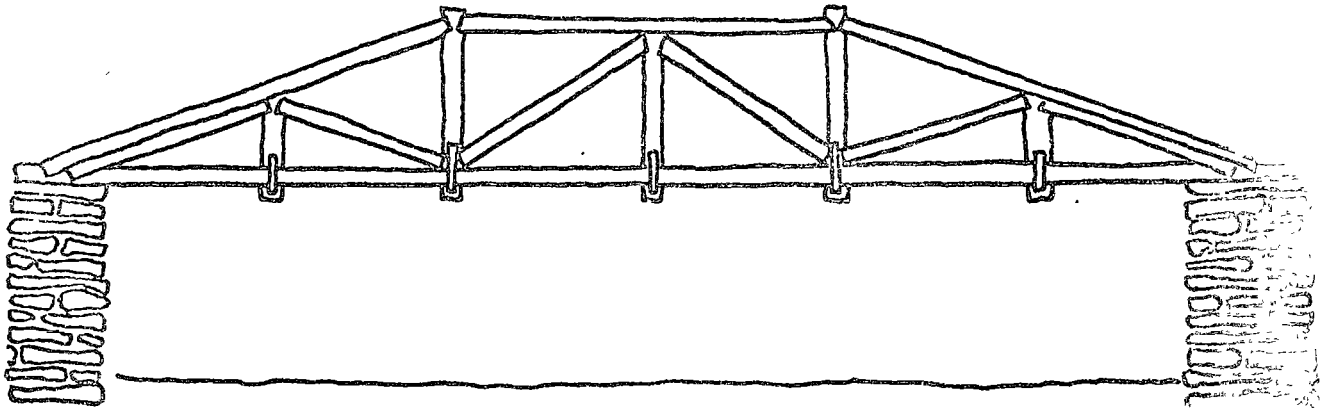


FIG. 3.26 EMPALMES PROPUESTOS POR VASARI PARA MIEMBROS SOMETIDOS A TENSION.



PUENTE DE CISMONE, DISEÑADO POR PALLADIO

FIG 3.27

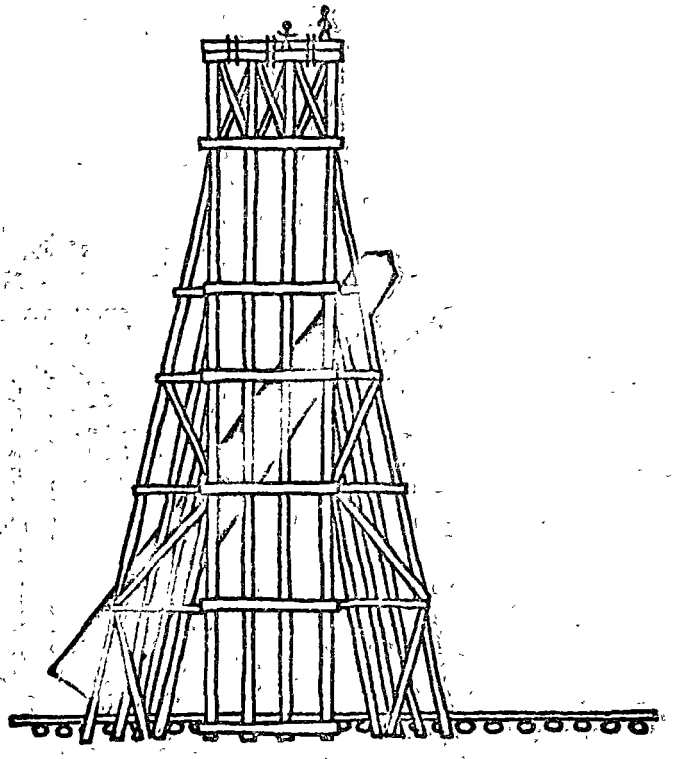


FIG. 3.28 OBRA FALSA PROYECTADA POR FONTANA PARA MOVER EL OBELISCO EN ROMA (1586)

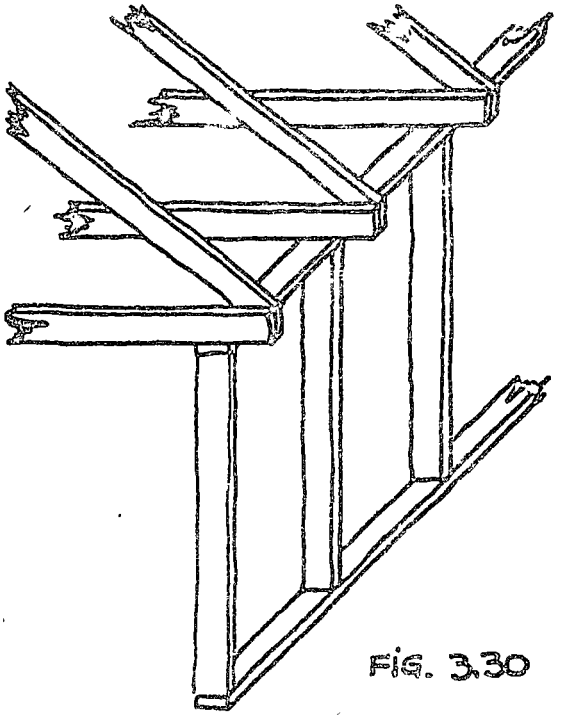


FIG. 3.30

ESTRUCTURA DE "ARMAZÓN DE GLOBO" ("BALLOON FRAME")

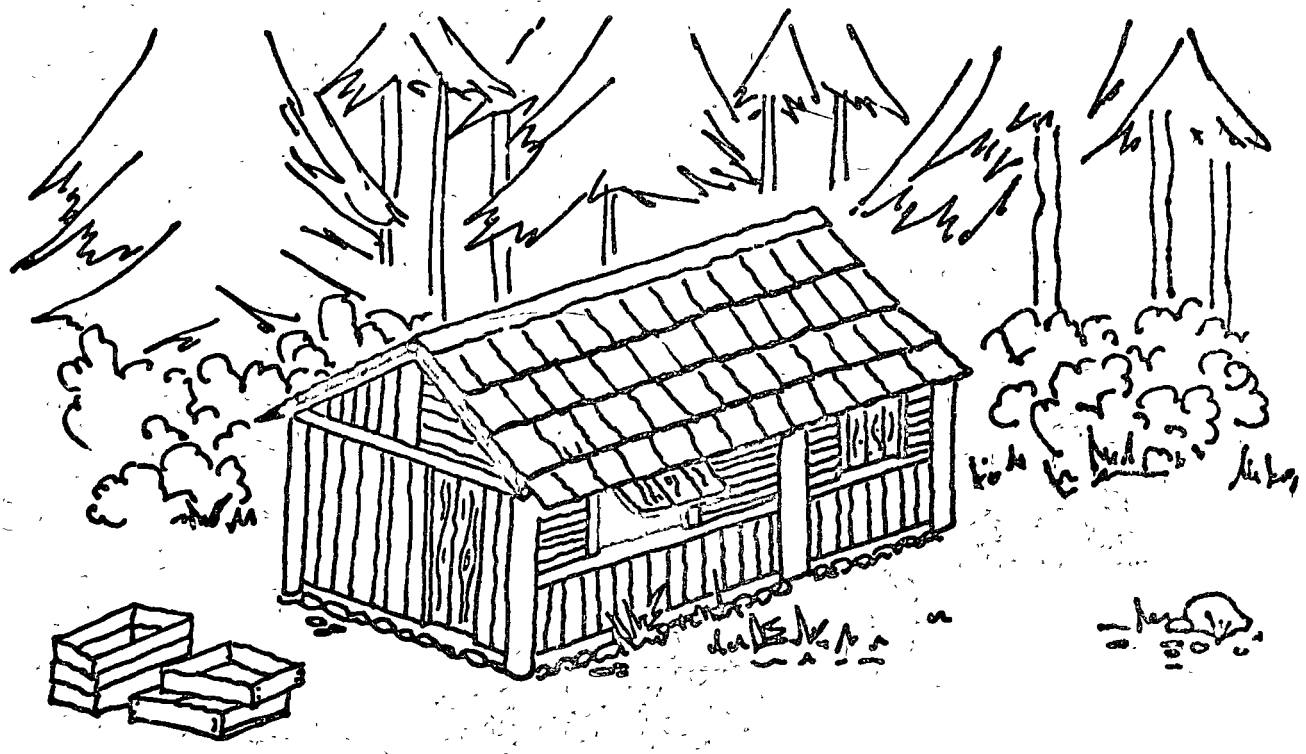


FIG. 3.35 CASA DE TRONCOS DE LA SIERRA DE PUEBLA

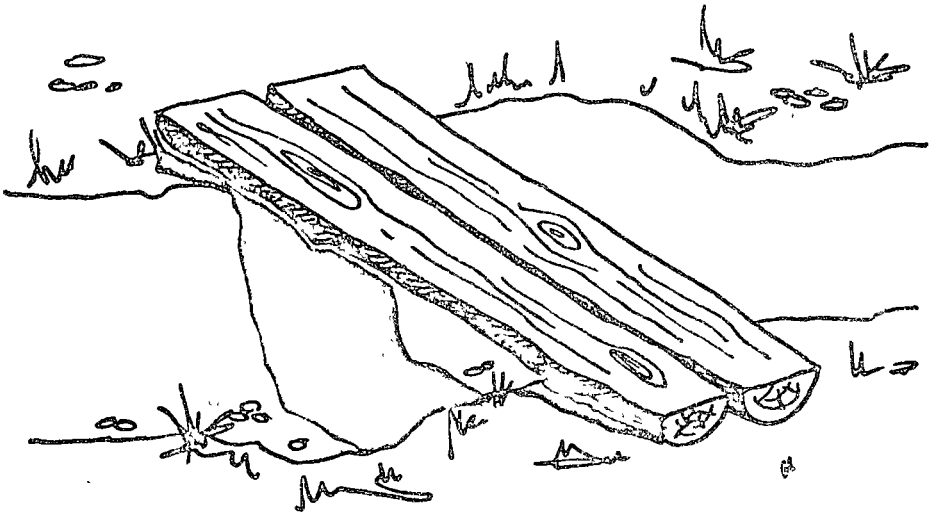


FIG. 3,37 PUENTE PRIMITIVO

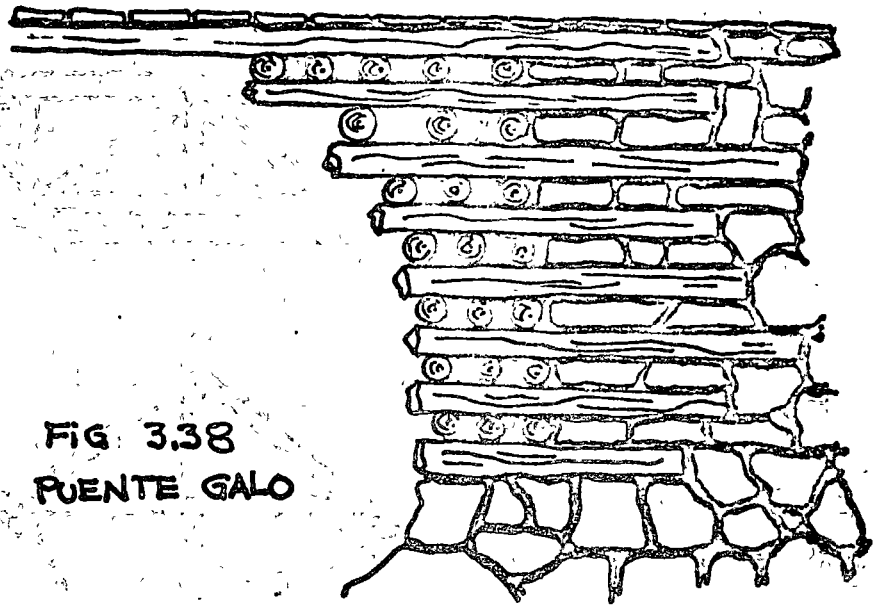


FIG. 3.38
PUENTE GALO

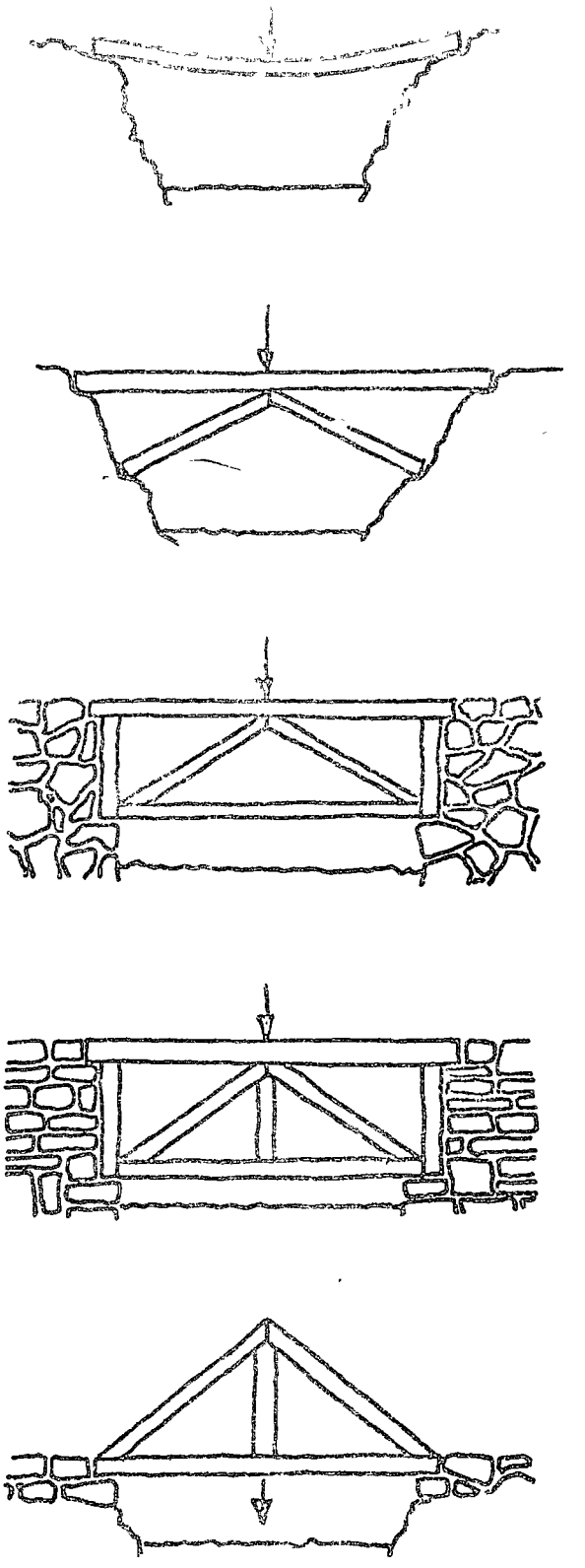


FIG. 3.39

EVOLUCIÓN DEL USO DE
LA ARMADURA EN PUENTES

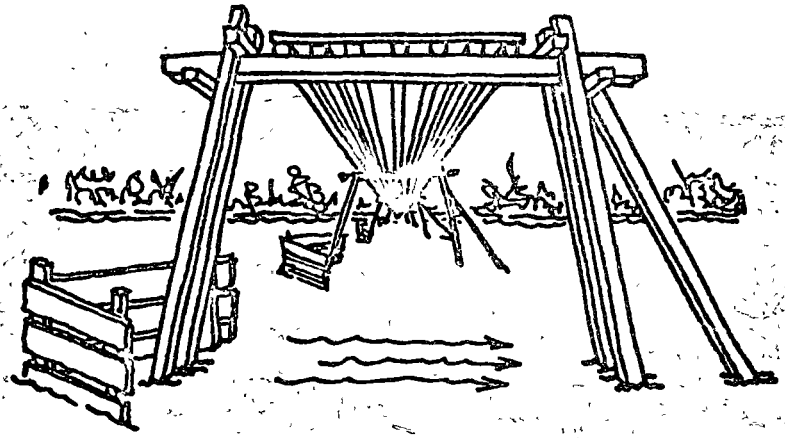


Fig. 3.40

PUENTE DE JULIO CESAR SOBRE EL RHIN

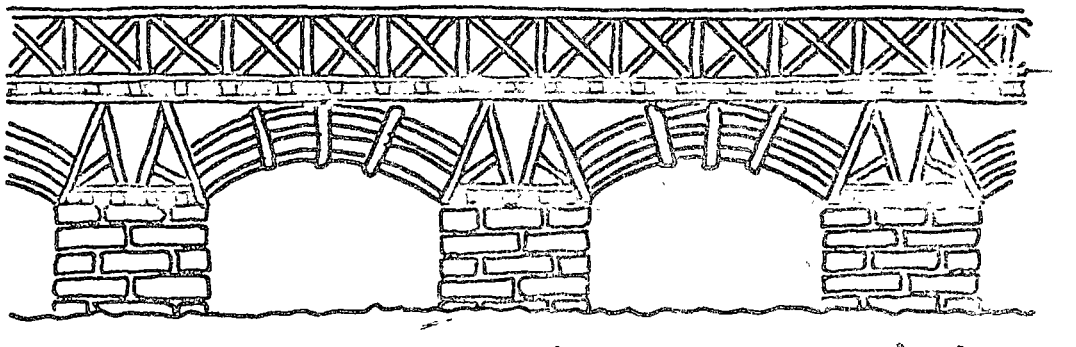


FIG. 3.41 PUENTE DE TRAJANO SOBRE EL DANUBIO

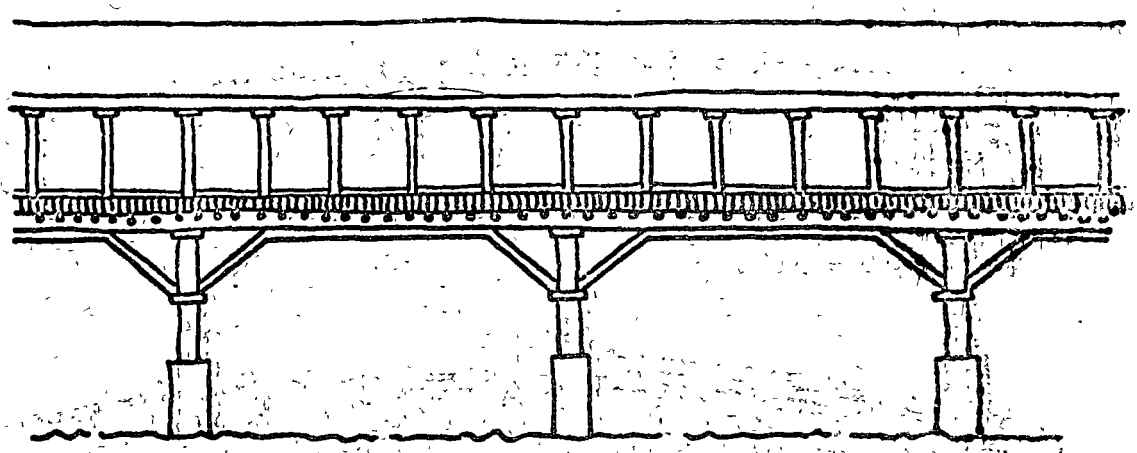


FIG 3.42 PUENTE DE PALLADIO SOBRE EL BRENTA

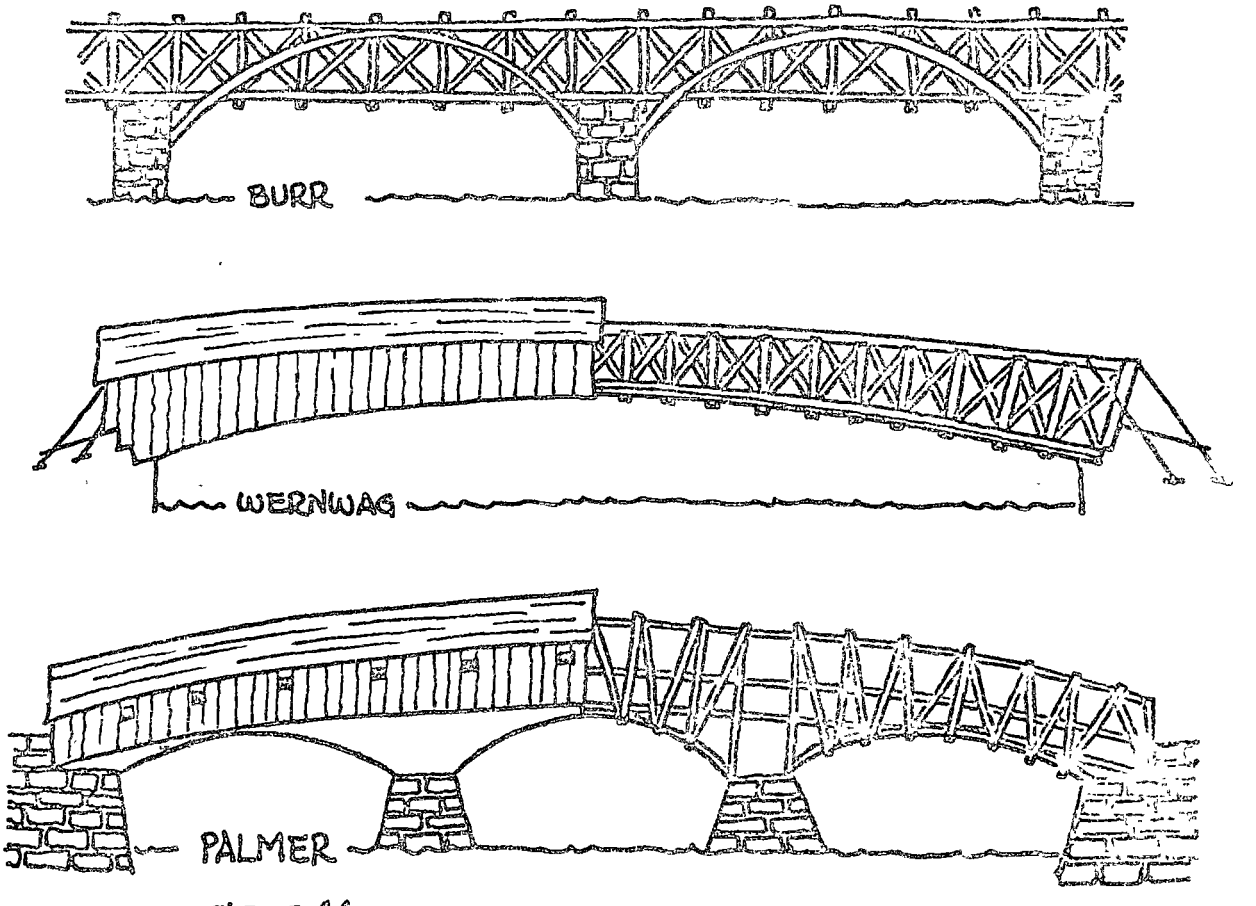
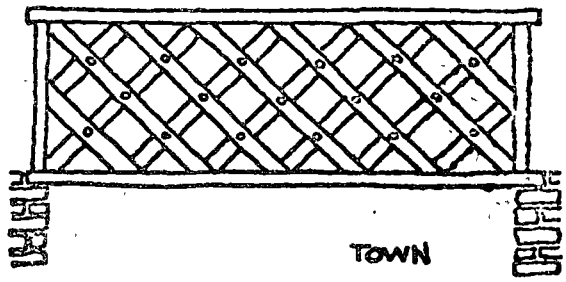
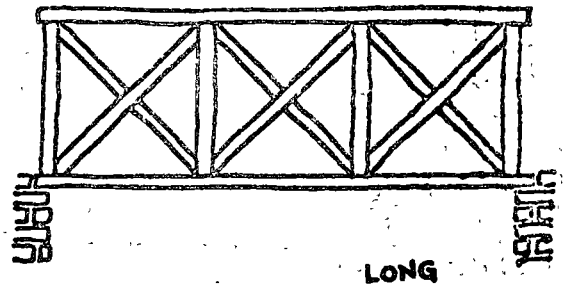


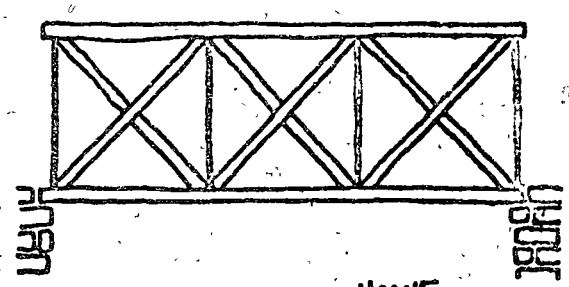
FIG. 3.44



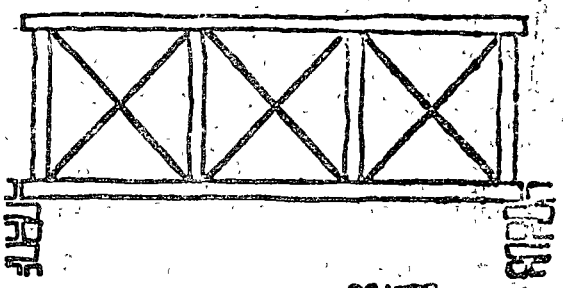
TOWN



LONG



HOWE



PRATT

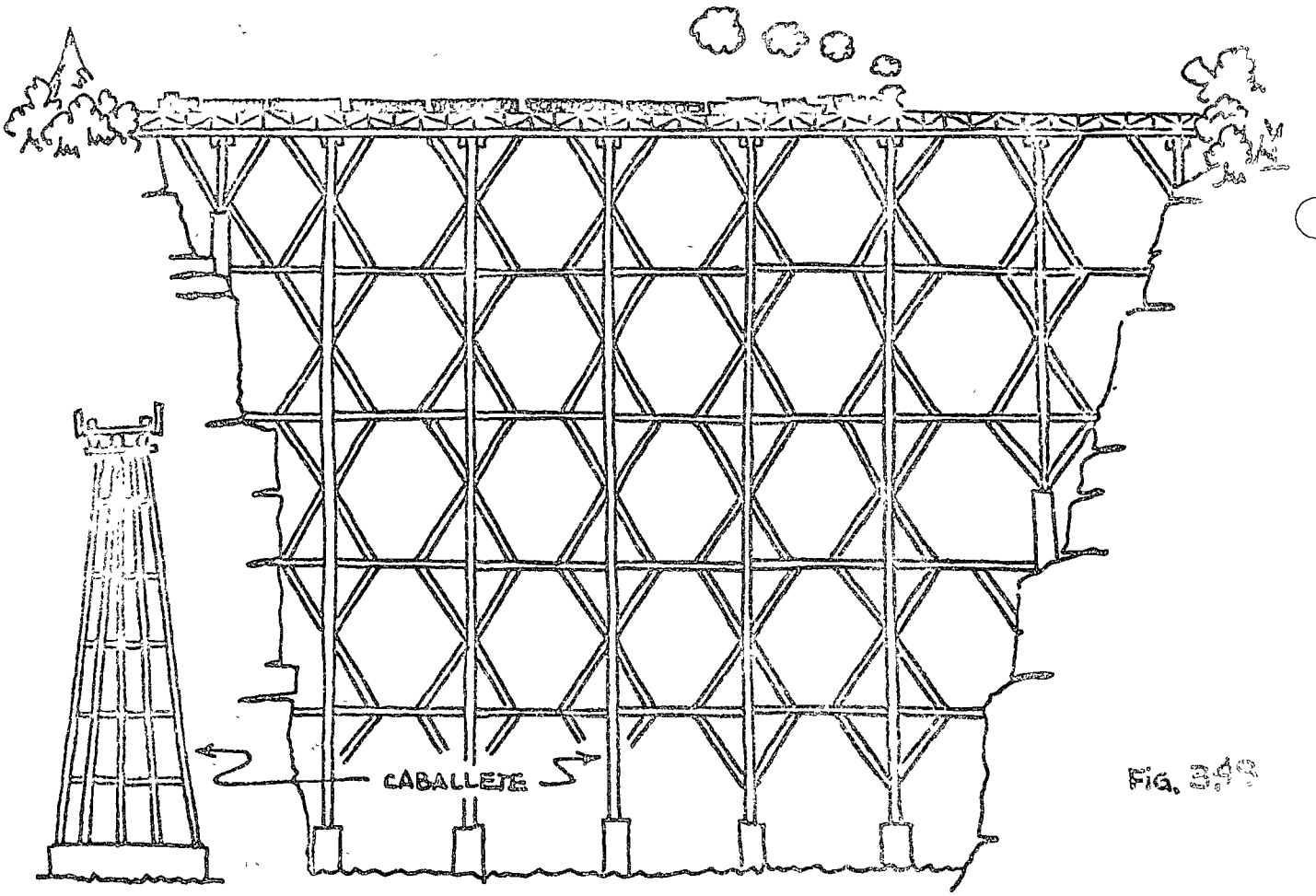


Fig. 3.48

EL VIADUCTO PORTAGE, DEL FERROCARRIL DE ERIE

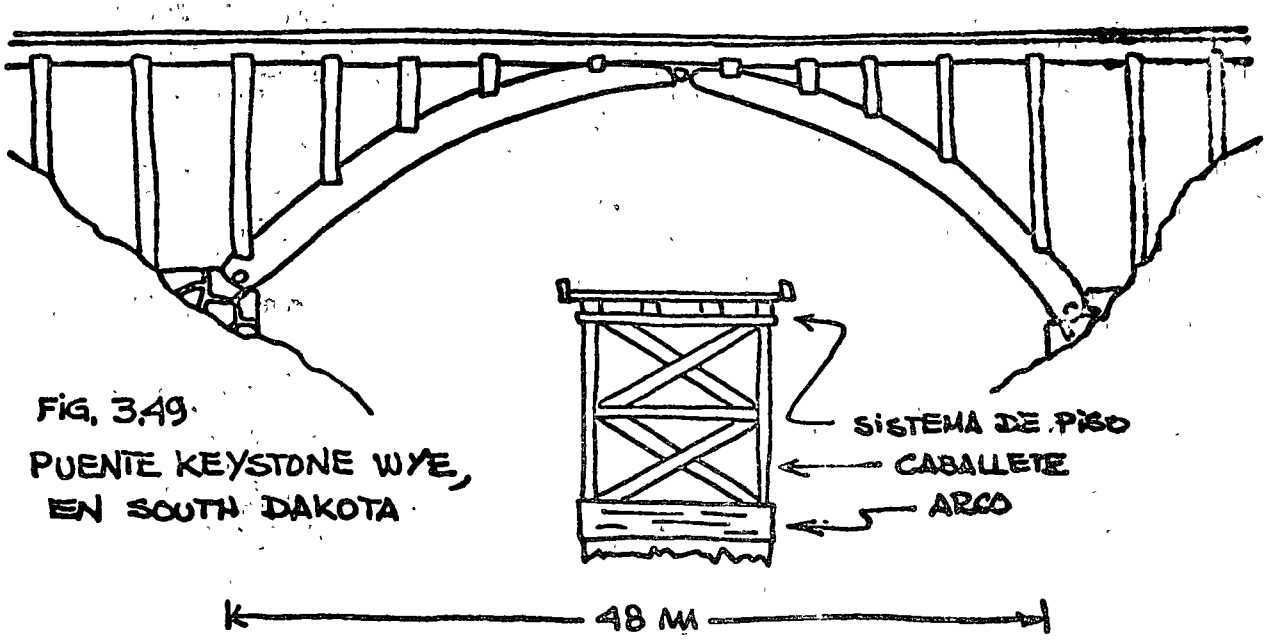
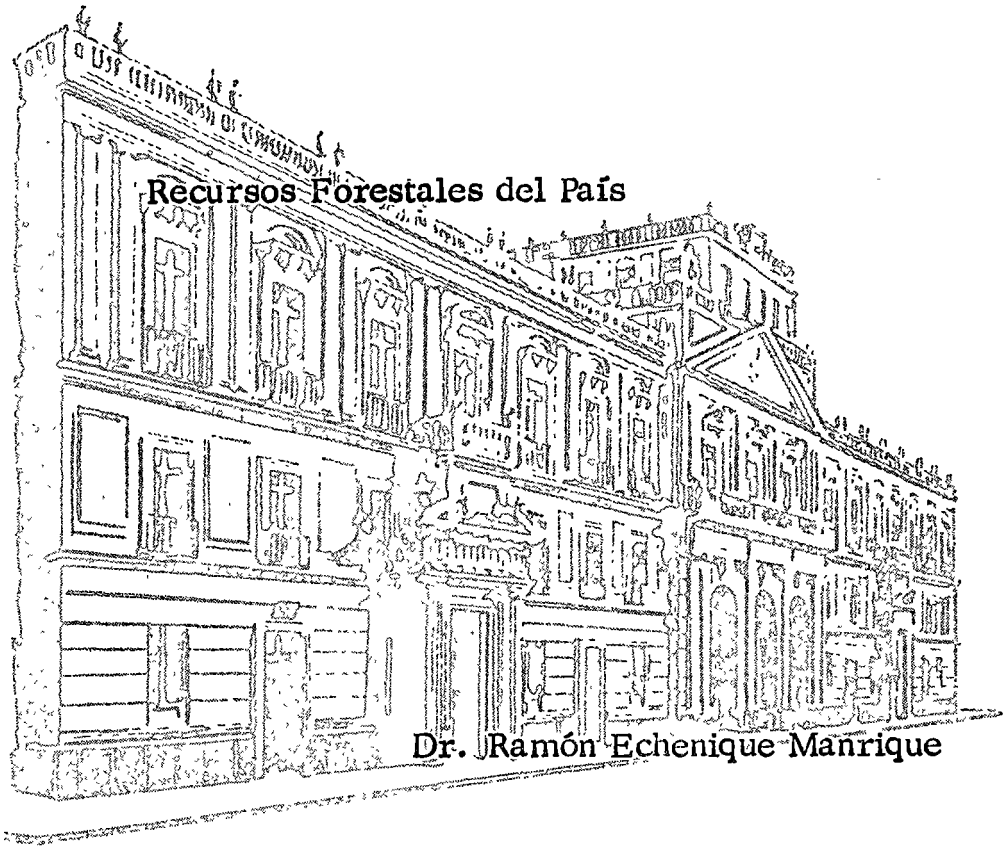


FIG. 3.49
PUENTE KEYSTONE WYE, EN SOUTH DAKOTA

centro de educación continua
división de estudios superiores
facultad de ingeniería, unam

PROYECTO Y USOS ESTRUCTURALES DE LA MADERA



Palacio de Minería
Tacuba 5, primer piso. México 1, D. F.
Tels: 521-40-23 521-73-35 5123-123

Dr. Ramón Echeverría-Martínez
Laboratorio de Ciencia y Tecnología de la Madera (LACITEMA)
Instituto de Investigaciones Sobre Recursos Bióticos, A.C. Xalapa, Ver.

RECURSOS FORESTALES DEL PAIS

Introducción

El país tiene aproximadamente 200 millones de hectáreas de extensión superficial, parte de ellas cubiertas con bosques y selvas. Es interesante detectar el concepto que mucha gente tiene sobre los recursos forestales del país en el sentido de que son muy raquíticos o casi por extinguirse. Como se verá más adelante, esta gente está mal informada, ya que México cuenta con una superficie forestal total y volumen de madera en pie mayor del que tienen otros países considerados como netamente forestales, como es Finlandia.

Situación actual

El 45.9 por ciento de la superficie del país, es decir, 90 millones de hectáreas, han sido clasificadas como forestales, sin embargo, únicamente 44.7 millones de hectáreas pueden considerarse como arboladas, ya que las demás han sido desprovistas de su cubierta arbórea. De éstas, un poco más de la mitad, 24.10 millones de hectáreas, corresponden a bosques de clima templado y frío y los 20.60 millones de hectáreas restantes, están cubiertas por bosques tropicales, o mejor expresado, por selvas.

Productividad

El volumen total de madera en pie del país es de 3400 millones de m^3 en rollo, de las que 1780 corresponden a bosques de clima templado y frío, y 1680 a selvas. Además, sin

cultivar el bosque o las selvas se obtiene un rendimiento anual, es decir, un aumento en el volumen de madera, dado por el crecimiento de los árboles de 23.5 millones de m^3 en rollo. De este aumento anual, en 1974 y en todo el país, para todos los usos, se aprovecharon únicamente 6.7 millones de m^3 en rollo. Estas cifras son indicativas que apenas se aprovecha aproximadamente el 28 % del volumen que nuestros recursos forestales producen cada año, y ésto sin cultivar el bosque, es decir, únicamente con un manejo forestal extensivo y no intensivo, que de practicarlo, sería muy factible de aumentar en 50 % el rendimiento anual. Es importante hacer notar que en la actualidad no todas las existencias volumétricas son comerciales, por lo que de los 23.5 millones de m^3 en rollo de rendimiento anual, solamente 15 millones se consideran como comerciales, que es aproximadamente el doble de la producción nacional maderable de 6.7 millones de m^3 en rollo correspondiente al año de 1974; además el 85 por ciento de la madera cosechada en este año, provino de bosques de clima templado y frío, principalmente de pino.

El 51 % de la producción se destinó para ser usada en la construcción, 4.2 % para chapa y triplay y 0.4 para postes de luz y teléfono. Como se puede apreciar, gran parte

de la producción maderera en México es utilizada en la construcción, sin embargo, poca de ella para fines permanentes, ya que la mayor parte de la madera se utiliza en cimbra y obras falsas.

Industria

Hasta el año de 1975 el país contaba con 605 aserraderos, 80 por ciento de los cuales tenían una capacidad instalada de no más de 10 millones de pie tabla. Además funcionaban 25 plantas de tableros de madera contrachapada, 9 plantas de tableros de partículas, 2 fábricas de tableros de fibras y 10 plantas de impregnación de preservadores de madera. Estas instalaciones industriales no trabajaron hasta la capacidad de sus instalaciones. Así por ejemplo, en el año de 1975 se calculó que los aserraderos funcionaron a 64 % de su capacidad, las fábricas de madera contrachapada a 62 % y las de tableros de partícula a 58 %. Podemos interpretar estos datos como indicativos de que el país cuenta con una base industrial firme, sobre la cual fincar la futura expansión industrial forestal, para satisfacer las demandas de productos forestales, especialmente aquellas que vendrín de la industria de la construcción.

La información presentada nos indica que México tiene una gran superficie forestal, un considerable incremento

anual de volúmenes comerciales de madera, el cual puede incrementarse aún más si se practica una silvicultura intensiva en lugar de extensiva y una buena base industrial, por lo que se puede concluir, sin lugar a dudas, que el uso de la madera en la construcción de estructuras permanentes tiene un gran potencial.

Introducción

La madera la podemos definir como un conjunto de células, huecas, alargadas y cementadas longitudinalmente entre sí. En el árbol vivo estas fibras a través de sus paredes celulares funcionan para el sostén del mismo y como conductoras de soluciones alimentícias y de desecho, ya que sus porciones huecas estan interconectadas lateralmente, formando un sistema continuo a lolargo del tronco.

Los tres componentes básicos de las paredes de las fibras son la celulosa (40-50%) que se puede considerar como el armazón, hemicelulosas varias (20-35%) que actuan como matríz y la lignina (15-35%) que es el cementante de los componentes. Desde el punto de vista de resistencia mecánica estos son los componentes importantes. Además pueden existir en cantidades y tipos variables, extractivos que son sustancias órganicas depositadas en los espacios libres de la madera y le imparten caracteristicas como olor, color, sabor e influyen sobre su permeabilidad.

A causa de la extructura de la madera, esta es un material anisotrópico, es decir que todas sus propiedades varian de acuerdo con sus ejes estructurales, los cuales desde un punto de vista teórico forman ángulos rectos entre sí. El eje longitudinal o axial (L) puede definirse como aquel que corre paralelamente a lo largo del tronco o de las fibras; el radial (R) es perpendicular al longitudinal, paralelo a los rayos (Los rayos son conjuntos de fibras que corren paralelas a una línea recta de la médula o centro del árbol a la corteza del tronco); y tangencial (T) perpendicular al axial y al radial y tangente a los anillos de crecimiento o circunferencia del tronco. En forma similar la madera tiene tres planos estructu

rales perpendiculares entre sí: el transversal (TR) delimitado por los ejes tangencial y radial; el radial (RL) comprendido entre los ejes radial y longitudinal; y el tangencial (TL) que se forma con la intersección de los ejes tangencial y longitudinal.

Tipos de Madera

La madera proviene de dos grandes grupos de árboles:

a. Maderas de angiospermas, latifoliadas, hojosas o de hoja caduca. Ejemplo de este grupo son: caoba, encino chicozapote, cedro rojo, etc.

b. Maderas de gimnospermas o coníferos. La madera de pino, xaxuka enebro, oyamel, etc. son ejemplos de este grupo.

En México la madera de pino es la mas abundante en el mercado y la más comúnmente usada en la construcción. Aunque son muy numerosas las especies de pino que vegetan en el país la madera proveniente de ellas no se comercializa por especies o grupos de especies con características de resistencia similares. También, en el mercado nacional la madera no se clasifica con base a sus posibles usos estructurales, sino únicamente desde el punto de vista del uso que se le puede dar, en la manufactura de muebles, canceles, etc.

Al observar una pieza de madera en su plano transversal por lo regular se distinguen una serie de bandas contiguas que corresponden a los anillos de crecimiento del árbol. Cada banda consiste de una porción color claro en donde las fibras tienen paredes delgadas (madera temprana) y otra porción más obscura con las fibras de paredes gruesas (madera tardía). La proporción

de madera temprana en una pieza, es importante desde el punto de vista de resistencia cuando, esta tiene un valor muy alto, significando que la pieza esta compuesta en gran parte por fibras de paredes delgadas indicando que probablemente la pieza tiene una capacidad de carga muy por abajo de lo esperado. Las normas utilizadas para clasificar madera desde el punto de vista estructural toman en cuenta este hecho, para desechar piezas de baja resistencia.

Otra caracteristica importante de la madera es la que se observa, también en el plano transversal de los troncos de los árboles. Con frecuencia la porción central es de un color más obscuro que la periferia. La madera que se asierra del area central se dice que es madera de duramen y la que proviene de la periferia madera de albura. Desde el punto de vista de resistencia mecanica no existe ninguna ~~da~~ diferencia significativa entre la madera de duramen y albura, una no es mas dura que la otra ni más o menos deseable para fines estructurales. El duramen sin embargo, ~~xxxxxx~~ debido precisamente a la presencia de extractivos que son los que le dan el color, olor y sabor, es por lo regular mas resistente al ataque destructor de organismos y también es un poco mas difícil de secar o impregnar con soluciones de sustancias preservadoras ya que es menos permeable que la albura.

Caracteristicas Físicas

Peso.

El peso total de una pieza de madera esta dado por la suma del peso del agua que contiene y el peso de la madera en si. La cantidad de agua en la madera puede contribuir significativamente al peso total de la pieza, llegando para las especies

de pino a más del 200 porciento. La madera de pino que comunmente se usa en la construcción y con un contenido de humedad de 15 porciento tiene pesos que van de 390 a 710 kg/m^3.

Contenido de Humedad.

El contenido de humedad de la madera se define como la relación entre el peso del agua en la madera respecto al peso anhidro de la misma, relación que se expresa en forma de porcentaje.

$$\text{Contenido de humedad } \% = \frac{\text{peso del agua}}{\text{peso de la madera anhidra}} \times 100 \quad (1)$$

Madera de pino recien aserrada puede tener contenidos de humedad hasta de mas de 200 porciento. Esta misma madera después de secada al aire libre o en estufa se puede adquirir en las maderarias con contenidos de humedad de 7 a 50 porciento aproximadamente.

La humedad dentro de la madera se localiza principalmente en dos zonas: en los huecos o luces de las fibras como agua "libre" de las paredes celulares como agua "fija". Al someter madera humeda a algún proceso de secado, el agua libre en los huecos de la fibra es la primera y mas fácil de extraerse, siguiendole el agua fija. El contenido de humedad de la madera correspondiente a la humedad que queda saturando las paredes celulares (toda el agua libre en los huecos de las fibras ha sido extraida quedando unicamente el agua fija en las paredes celulares) se le llama punto de saturación de la fibra (PSF), siendo el intervalo de valores para la madera de pino del país de 25 a 30 porciento. Es muy importante señalar que todas las caracteristicas de la madera, en especial su resistencia mecánica cambian notablemente cuando su contenido de humedad

es inferior al del punto de saturación de la fibra, por lo que es muy recomendable tener siempre en cuenta este fenomeno, al utilizar la madera en cualquiera forma.

Cambios de Humedad-Cambios Dimensionales

La higroscopicidad de la madera es otra caracteristica importante que el usario debe de ~~xxxxx~~ conocer y tener siempre en mente. La madera es un material que tiene la capacidad de tomar o dejar escapar humedad a la atmosfera dependiendo del contenido de humedad de la madera y de la presión de vapor relativa del aire circundante. Este es un proceso permanente, aunque llegue el momento enque se tenga un equilibrio, es decir que la madera absorbe y deja escapar en forma continúa la misma cantidad de moleculas de agua. Este punto de balance se le conoce como contenido de humedad en equilibrio (CHE). Por lo tanto, debido a la higroscopicidad de la madera su contenido de humedad (CHE) variará según la temperatura y humedad relativa de la atmosfera que la rodea. Es importante hacer notar que esté fenómeno unicamente lo puede experimentar la madera cuando tiene contenidos de humedad inferiores al punto de saturación de la fibra (PSF) que corresponde a valores menores de 25 a 30 porciento.

Cuando la madera sufre cambios en su contenido de humedad (CHE) por abajo del PSF, la cantidad de agua fija dentro de las paredes de las fibras, también varía. El aumento o disminución de la cantidad de este tipo de agua causa que las paredes celulares aumenten ~~xx~~ o disminuyen en su dimensiones, o sea que la madera sse hinche o se contraiga. Este cambio dimensional generalmente se define caomo la relación entre el cambio sufrido

respecto a la dimensión original, relación que se expresa en forma de porcentaje.

$$\text{Cambio dimensional } \% = \frac{\text{dimensión A-dimensión B}}{\text{dimensión A.}} \times 100 \qquad (2)$$

X=

dimensión A= es aquella de mayor magnitud de las dos (A y B) la cual generalmente es la que la pieza tiene cuando su contenido de humedad es superior al PSF.

dimensión B= es la menor de los dos (A y B), que por lo general es la que la pieza tiene cuando su contenido de humedad es inferior al PSF.

Los cambios dimensionales totales que puede sufrir la madera son los correspondientes a cuando su contenido de humedad disminuye de por arriba del punto de saturación de la fibra ("verde") a la condición anhidra. Estos cambios en la dirección longitudinal (L) son insignificantes, ya que pueden tener valores hasta un máximo de 0.9 porciento; en la dirección radial (R) son del orden de 2.4 a 11 por ciento y en la tangencial (T) de 3.5 a 15 porciento. Para la madera de pino del país que se usa en la construcción, los valores aproximados de las contrucciones totales son:

longitudinal L = 0.3%

radial R = 4%

tangencial T = 8%

Expansión Térmica.

En la ~~mayoría~~ mayoría de de las veces cuando se proyecta en madera, los cambios dimensionales debidos a las variaciones de temperatura no se toman en cuenta, por su poca magnitud en la madera o porque los cambios dimensionales causados por variaciones de humedad son mayores y encubren los térmicos. La expansión térmica perpendicular a las fibras (dirección R o T) es de 10 a 15 veces mayor que en la dirección longitudinal. Para la madera de pino del país se pueden asumir los siguientes coeficientes de expansión térmica lineal los cuales pueden ser usados en la expresión. (3):

longitudinal $L=3.6 \times 10^{-6}/°C$

transversales T y $R= 64.0 \times 10^{-6}$ /°C

$AL = \delta \, Li \, AT$

donde:

AL= cambio dimensional lineal, cm.

δ = coeficiente de expansión lineal 1/C°

Li = dimensión lineal inicial, cm.

AT = cambio de temperatura sufrida, °C.

Conductividad térmica.

La madera es buen aislante térmico y su baja conductividad térmica la ha hecho un material preferido ~~en~~ en la construcción. En la dirección longitudinal L la conductividad térmica es aproximadamente 2.5 veces mayor que en las direcciones transversales R y T. Un aumento en la densidad o en el contenido de humedad traen como consecuencia incrementos en la conductividad térmica de la madera. Para la madera de pino del país con un contenido de humedad de aproximadamente 12 porciento, se pueden asumir los siguientes coeficientes de conductividad térmica K:

longitudinal L= 0.00000 K-Cal /M seg°C.

transversales T y R=0.00003 K- Cal /M seg°C

Conductividad electrica.

La madera es un excelente aislante a corriente eléctrica en estado anhidro, mas al aumentar su contenido de humedad, su conductividad aumenta significativamente. A corriente directa la resistividad de la madera anhidra varia entre $3X\ 10^{17}$, $3X10^{10}$ ohm-cm comparándose favorablemente con la de bakelita que es de $1X10^{12}$ ohm-cm. La resistividad de la madera en la dirección longitudinal L es aproximadamente la mitad que en la perpendicular a las fibras RyT. Cuando el contenido de humedad de la madera aumenta a 30 porciento la resistividad se reduce a valores cercanos a $1X10^{6}$ ohm-cm.

Cuando la corriente alterna es de baja frecuencia, las relaciones que existen entre este tipo de corriente y la madera son muy similares a las de corriente directa. Unicamente cuando el fluido es de la clase de radio-frecuencias la madera no actua como una simple resistencia, sino como un material dieléctrico. Como en la construcción la madera unicamente podrá relacionarse con corrientes alternas de baja frecuencia, es suficiente tener presente que este material actúa de manera similar cuando la corriente es directa o alterna de baja frecuencia.

Sonido.

Respecto al aislamiento de sonido, la madera por si sola al igual que otros materiales, no constituye una barrera contra el sonido, pero cuando se combina con diversos elementos se puede obtener una unidad estructural con propiedades satisfactias de aislamiento. El problema de absorción de sonido es diferente que el de aislamiento, ya que este último requiere de material pesados y densos, mientras que el primero necesita de

Anteriormente se indico que la madera es un material anisotrópico y por lo tanto las características mecánicas son diferentes en dirección de cadauno de sus tres ejes principales. Sin embargo en muchas ocasiones estas diferencias entre las direcciones radial y tangencial son mínimas, por lo que se ha optado por hablar únicamente de las resistencias mecánicas en la dirección paralela (11) y en dirección perpendicular a las fibras (1).

Tensión.

La resistencia de lamadera en tensión paralela a las fibras (T 11) es la más alta de todas las resistencias de este material, y tiene una deformación plástica minima antés de fracturarse cuando se sujeta a este tipo de esfuerzo. Comúnmente la resistencia en T 11 es 40 veces mayor que en T 1. Ya que los resultados de pruebas de flexión estática (esfuerzo al momento de la ruptura EMR) se asemejan mucho a los de T 11, estos ultimos son los que se utilizan para valorizar la madera en T 11. El rango de valores de resistencia en T 11 para madera en general con un contenido de humedad de 12 por ciento es de 300 a 3000 kg/cm^2 dependiendo de la densidad de la especie de que se trate; la madera de pinos mexicanos tiene valores alrededor de 800 kg/cm^2

Compresión.

Para el caso de compresión paralela a las fibras C 11 la porción plastica de la curva esfuerzo-deformación, en contraste a la de T 11, es mayor, además tiene un límite de proporcionalidad bien definido. Aunque las resistencias son diferentes para T 11 y C 11, los módulos de elasticidad se consideran iguales. La

que en C ⊥. A un contenido de humedad de 10 porciento y dependiendo de la densidad de la madera de que se trata esta tiene resistencias en C ∥ que van de 100 a 1600 kg/cm^2 ; las especies de pino del país tienen valores cercanos a 150 kg/cm^2 a un contenido de humedad de 12 porciento.

La resistencia en C ⊥ está intimamente relacionada a la dureza y resistencia al corte perpendicular a las fibras U ⊥. Cuando la madera se comprime perpendicularmente a las fibras, estas tienden a compactarse y la densidad de la madera a incrementarse conforme va aumentando la carga, razón por la cual es practicamente imposible determinar el máximo esfuerzo, por lo que se trabaja unicamente con el esfuerzo al límite de proporcionalidad E L P. Para madera en general, dependiendo de la densidad de la especie que se trate, y con un contenido de humedad de 12 porciento se tiene un rango de valores de ELP en C ⊥ de 22 a 225 kg/cm^2 ; las maderas de pino mexicanas tienen valores cercanos a 60 kg/ cm^2.

Flexión estática

Generalmente en flexión estática la factura total en la madera no es instantánea, sinoque se desarrolla poco a poco, primeramente fallando las fibras en la superficie sujeta a compresión y mas tarde las sujetas a tensión, produciendo una serie de ruido peculiares conforme la fractura avanza paulatinamente . Madera que ha sido atacada aunque sea levemente por hongos, se fractura repentinamente en flexión estática. Dependiendo de la densidad de la especie de madera que se trate, y con un contenido de humedad de 12 porciento, los valores de

EMR van de 300 a 2100 kg/cm^2 y de los de módulo de elasticidad ME de 40 000 a 300 000 kg/cm^2; las especies de pino del país tiene valores de EMR de alrededor de 850 kg/cm^2 y de ME de aproximadamente 100 000 kg/cm^2.

La madera tiene una alta capacidad de absorber energía por lo que es mas resistente a cargas de impacto que a las aplicadas estáticamente, siendo en flexión 60 a 60 porciento mas resistente al impacto.

Corte.

Al imponerse a la madera un esfuerzo cortante en dirección perpendicular a las fibras VI, la fractura que puede sufrir no ocurre en el plano transversal como se esperaría, ya que antes de que este pudiese suceder la madera falla en el plano longitudinal (TL ó RL) a causa de esfuerzos en CI y corte paralelo a las fibras VII. Cuando el esfuerzo cortante es paralelo a las fibras y el plano donde se aplica es el radial RL, en ocasiones la resistencia se ve afectada muy seriamente por la presencia de pequeñas rajaduras o grietas resultantes del secado de la madera. Entre las diferentes especies de madera que existen y dependiendo de su densidad se tiene un rango de valores de EMRCII de 22 a 225 kg/cm^2. á un contenido de humedad de 12 porciento: las especies de pino nacionales tienen valores alrededor de 40 kg/cm^2.

Dureza.

La dureza es indicadora de la resistencia de la madera a indentarse y a la abresión. El metodo Jenka es el que utiliza para determinar la dureza en madera y consiste basicamente en determinar la fuerza en kilos que se necesita para introducir

en la madera una esfera de acero de cierta dimensión, hasta la mitad del diámetro de la misma. La dureza D en las superficies radial RL o tangencial TL es prácticamente la misma, sin embargo la que se presenta en la transversal TR es por lo general mayor que las de los planos laterales. Para especies de diversas densidades con contenido de humedad de 12 por ciento la dureza lateral RL y TL va de 110 a 1550 kg y la de los extremos TR de 150 a 1560; la madera de pino del país tiene una dureza lateral de aproximadamente 360 kg y en las superficies transversales de alrededor de 460 kg.

Factores que Afectan la Resistencia Mecánica.

Variabilidad natural.

Todo lo que se ha dicho hasta aquí sobre las características físicas y mecánicas de la madera, se refiere a madera en general y continuación se describirán brevemente los principales factores que afectán las características mecanicas de la madera.

Como sabemos bien, la madera proviene de árboles que son seres vivientes y como todo organismo en la tierra sus características exhiben cierta variabilidad natural. Así tenemos que las características mecánicas de muestras de madera de un mismo árbol ó entre árboles de la misma especie exhiben diferencias en sus valóres. Por ejemplo el módulo de elasticidad en flexión estatica para una especie de pino determinada puede tener un coeficiente de variación de 22 porciento y el EMR de 16 porciento peculiaridad de la madera que el usuario debe de conocer y que se toma en cuenta en la derivación de esfuerzos permisibles de trabajo.

Densidad.

La densidad indicadora de la cantidad de madera por unidad de volumen, esta intimamente relacionada con la resistencia mecánica, de donde resulta que un aumento o disminución de la densidad de la madera de una especie o entre especies tiene como consecuencia igual efecto en la capacidad de resistir esfuerzos mecánicos. Para usar a la densidad como indice de la resistencia mecánica de la madera, es importante especificar el contenido de humedad correspondiente al valor de la densidad. Por ejemplo una misma pieza de madera de pino puede tener un valor de 0.45 gr/cm3 a un contenido de humedad de 12 porciento y de 1.35 gr/cm3 a un contenido de humedad de 200 porciento. Para evitar este tipo de confusiones, y por tradición los valores de densidad de la madera estan basados en las siguientes condiciones:

Peso anhidro y volumen anhidro
Peso anhidro y volumen "verde" (Vol. a c.h. por arriba del PSF)
Peso anhidro y volumen intermedio (Vol.a.c.h. entre 0 y el PSF)
Peso y volumen a contenido de humedad de 12 o 15 porciento.

Contenido de humedad.

Al igual que la densidad el contenido de humedad, es un factor de gran importancia en la resistencia mecánica de la madera. Así tenemos que la capacidad de la madera de resistir esfuerzos mecanicos cuando su contenido de humedad es superior al PSF, se mantiene igual a todos los contenidos de humedad hasta saturación total. Por abajo del PSF la resistencia mecánica aumenta conforme la madera tiene menor humedad. Por ejemplo si una muestra saturada de agua se seca hasta un contenido de humedad 8 porciento, el cambio de humedad que experimentará a partir de un PSF de 30 porciento será

de 22 porciento y es posible que el EMR en flexión estática aumenta en un 33 porciento, es decir, 4 porciento de incremento en resistencia por cada uno porciento de disminución en el contenido de humedad a partir del PSF. Este ejemplo ilustra la profunda influencia que tiene la humedad en la resistencia mecánica en la madera, factor que también se toma en cuenta en la derivación de los esfuerzos permisibles de trabajo.

Temperatura.

La influencia de la temperatura sobre las propiedades mecánicas de la madera puede ser considerable en ciertas condiciones, y la magnitud de esta influencia depende de la combinación del contenido de humedad y tiempo de exposición a temperaturas extremosas. Es decir, cuando la madera tiene un alto contenido de humedad, o se expone en una atmosfera de gran humedad a temperaturas elevadas, la pérdida de resistencia es mayor que si la atmósfera y madera tuvieran humedad menor. Sin embargo, se puede decir que las temperaturas a las que la madera en estructuras estará expuesta en el país, no son tan extremosas como para influenciar significativamente la resistencia de la madera, por lo que el constructor no tendrá necesidad de tomar en cuenta este factor, a menos de que la humedad y temperaturas dentro de la estructura sean realmente extremosas (humedades relativas, constantes de más de 80% junto con temperaturas de mas de 60°C).

6. TRATAMIENTO Y CONSERVACION DE LA MADERA

Introducción

La madera como todos los materiales de construcción, es susceptible a deteriorarse con el tiempo, característica que en México, especialmente en forma errónea, se le considera como defecto incorregible. La madera es de origen orgánico, por lo que organismos como hongos e insectos son los principales causantes de su deterioro, aunque en ciertos casos agentes físicos como fuego, intemperismo, pueden ser los principales destructores de la madera. Como se verá más adelante, existen una diversidad de técnicas preventivas y tratamientos de preservación mediante los cuales la susceptibilidad de la madera a deteriorarse con el tiempo puede atenuarse y en algunos casos hasta eliminarse.

Intemperismo

La madera expuesta a la lluvia, sol, viento, polvo, etc., con el tiempo su color se transforma en grisáceo, debido a que las capas superficiales de fibras se deterioran por las hinchazones y encogimientos que experimenta con los cambios de humedad. Además los polisacáridos de la madera han venido sufriendo hidrólisis, proceso que es acelerado por la energía de las radiaciones infrarrojas y ultravioletas del sol.

Este tipo de deterioro es relativamente sencillo de evitar, cubriendo la madera periódicamente con capas de pintura o barniz, las cuales actúan como barreras a los rayos del sol y retardan la penetración de humedad y por lo tanto, retardan los cambios dimensionales. Además se puede tratar la madera con una solución de parafina, la cual una vez en la madera retardaría los cambios en el contenido de humedad de la madera y por lo tanto, las dimensionales, especialmente aquellas que pudieran presentarse en períodos cortos (después de un chubasco). Por lo general, la madera se pinta una vez tratada con la parafina, para darle aun mayor protección contra el intemperismo.

3 Organismos

Los principales destructores de la madera, en orden de importancia por la cuantía de daños que causan, son: hongos, insectos y taladradores marinos.

. Hongos

Estos organismos, a diferencia de las plantas verdes o con clorofila, no pueden manufacturar sus alimentos, por lo que son parásitos y se alimentan de materias orgánicas como la madera. Estos están bien adaptados para

deteriorar a la madera, ya que su cuerpo está constituído por finos filamentos llamados hifas, los cuales penetran y se desarrollan por los poros y cavidades, elaborando exoenzimas que descomponen la celulosa, hemicelulosas y lignina en productos digeribles, los cuales son absorbidos y aprovechados como nutrientes por el hongo.

La gran mayoría de los hongos que producen esta degradación, necesitan de ciertas condiciones para su desarrollo.

1. Alimento.- El alimento consiste en la celulosa, hemicelulosas y lignina de las paredes celulares y de los almidones y azúcares almacenados en algunas células.

2. Humedad.- Los hongos necesitan de cierta humedad, para que las exoenzimas que producen sus hifas puedan transladarse por difusión a las paredes celulares. Cuando la madera tiene contenidos de humedad inferiores al 18 por ciento (del peso seco de la madera), éstos no son suficientes para permitir la difusión de las enzimas degradadoras.

3. Oxígeno.- Estas plantas necesitan de un mínimo de aire (O_2) dentro de la madera para respirar, y se estima que corresponde entre 80 y 50 por ciento del total de su espacio libre (porosidad). Si la madera está completamente saturada con agua, no contiene aire y los hongos no pueden respirar.

4. Temperatura.- El rango de temperatura para el desarrollo de los hongos en la madera es de 20 a 36°C, pero pueden tolerar temperaturas más bajas.

5. pH.- La actividad de las exoenzimas de los hongos requieren de un grado de acidez entre 4.5 y 5.5 en la madera.

Si alguno de estos factores no se encuentra entre los valores indicados, el hongo no puede desarrollarse en tal pieza de madera, por lo que estará a salvo de ser degradada. Los "secretos" de preservación de la madera residen en modificar alguno de estos cinco factores para impedir el desarrollo del hongo.

Con base al tipo de deterioro que causan los hongos se clasifican en tres grupos principales. Un grupo el que mancha la madera sin reducir significativamente la

resistencia mecánica de la madera se alimenta principalmente de las sustancias almacenadas en cierto tipo de células de la madera (parenquima). La mancha que causan puede ser de varios colores, pero por lo general es azulosa, la cual en ocasiones penetra profundamente en la pieza de madera y puede aumentar la permeabilidad a líquidos en la madera de albura después de exposición prolongada. El efecto principal de este grupo de hongos sobre la madera consiste en que afean el aspecto de la pieza, reduciendo su valor y haciéndola inservible para algunos usos donde el color y veteado natural de la madera sean requisitos.

Un segundo grupo es aquel que causa pudriciones, y que no únicamente manchan a la madera, sino que la destruyen al alimentarse de los componentes de las paredes celulares. La degradación puede ser profunda y extensa que provoca grietas a través y a lo largo de las fibras, junto con cambios a un color pardo oscuro, llamada pudrición morena o la degradación deja un material residual esponjoso de color blanquecino, como la pudrición blanca. Con ambos tipos de pudrición la madera se ve afectada grandemente en su apariencia y en su resistencia mecánica, lo mismo que en su densidad, permeabilidad a líquidos y gases y en sus características de secado. Este grupo es el más importante por la gran cantidad de daños que causan a la madera en servicio.

El tercer grupo es el responsable de las llamadas pudriciones blandas, que es un tipo de pudrición muy especializado y únicamente ocurre cuando la madera está sujeta a temepraturas y humedades altas, como las existentes en las estructuras de torres de enfriamiento. El deterioro consiste en un ablandamiento de las capas superficiales de la madera, las cuales son erosionadas por la acción del agua y ésto permite que la pudrición penetre a mayor profundidad de la madera. Afecta notablemente la apariencia de la madera lo mismo que su resistencia a esfuerzos mecánicos.

Insectos

A estos organismos se les considera como segundos en importancia a los hongos por la cantidad y valor de los daños que causan.

Los insectos más conocidos y más dañinos son las termitas o polilla que son insectos sociales que forman colonias bien organizadas en nidos. Existen dos tipos principales, las termitas subterráneas y la polilla de la madera seca.

Las termitas subterráneas construyen su nido bajo el suelo o en pedazos de madera en contacto con éste, a fin

de hacer túneles hasta los sitios donde se encuentra su alimento. Estos insectos de cuerpo blando, son muy sensibles a cambios de temperatura, pero especialmente a cambios de humedad, ya que sus cuerpos no tienen protección adecuada para evitar su desecación en ambientes que no se caracterizan por tener una alta humedad relativa. Es por ésto que construyen galerías de sus nido a los sitios donde se alimentan ya que dentro de ellos mantienen condiciones óptimas de medio ambiente para sus actividades. Al atacar una pieza de madera consumen las porciones internas, dejando un cascarón hacia el exterior que proteje a los organismos dela luz y cambios de temperatura y humedad. Esta característica es la razón por la que en muchas ocasiones no se detecta el daño causado por estos organismos hasta que la pieza o piezas han sido severamente atacadas. Cuando la madera no está en contacto directo con el suelo los insectos construyen galerías sobre o aprovechando hendiduras en concreto y mampostería, hasta llegar a la madera y a través de estos ductos mantienen la comunicación con el nido y las condiciones ambientales deseadas.

Las polillas de la madera seca no necesitan conexión alguna con el suelo y resisten bien los cambios de temperatura y humedad, ya que sus cuerpos están cubiertos con

una capa protectora que evita su desecación. Este tipo de termitas no son tan dañinas ni tan numerosas como las subterráneas y su presencia y por lo tanto, daño, se nota cuando los individuos adultos que son alados (palomillas de San Juan) emergen de la madera a través de pequeños orificios para transladarse a otras piezas de madera e iniciar nuevas colonias. En otras ocasiones la presencia de estos insectos se detecta por la presencia de acumulaciones de "aserrín" bajo los orificios de salida de los adultos.

Las termitas usan a la madera como alimento y pueden digerir la celulosa y hemicelulosas, debido a que protozoarios que viven en los estomagos, transforman los polisacáridos en estructuras más sencillas capazes de ser "digeridas" por el insecto. Alteran severamente todas las características físico-mecánicas de la madera.

[illegible] Taladradores marinos

Estos organismos adquirieron gran notoriedad durante la época de oro de los fenicios, ya que fueron responsables de que los cascos de los barcos de madera se fracturaran, debido al daño causado por "lombrices marinas". Además de causar daños a embarcaciones de madera, estos organismos deterioran la madera de instalaciones marinas, sobre

todo aquéllas que se localizan en mares tropicales o en zonas costeras salobres.

Los dos tipos principales de taladradores pertenecen a los grupos de moluscos o crustáceos y para ambos el deterioro consiste en que cavan túneles en la madera, ya sea para alimentarse de ella o para usarla como morada y alimentarse del planhton que es acarreado por el agua hacia ellos y/o de los hongos que crecen en las paredes de los túneles en la madera, los cuales pueden variar en lon longitud y diámetro, según el organismo y condiciones ambientales en las que se desarrolla.

Prevención y control

Sin lugar a dudas es más sencillo, más eficiente y mucho más económico prevenir daño a la madera por organismos que controlar su desarrollo una vez en la madera.

Para prever el deterioro por hongos se puede utilizar un o una combinación de métodos, de acuerdo al valor de la madera y riesgo a la que está expuesta. En algunos casos es conveniente usar madera de especies que tengan gran durabilidad natural, entre las cuales tenemos a:

barí o santamaría (*Calophyllum brasiliensi*)

cedro rojo (*Cedrela odorata*)

cuapinol (*Hymenaea courbaril*)

chicozapote (*Manilkara zapota*)

gateado (*Astronium graveolens*)

guanacaste (*Enterolobium cyclocarpum*)

guayacán (*Guaiacum sanctum*)

hormiguillo (*Cordia alliodora*)

machiche (*Lonchocarpus castilloi*)

mora (*Maclura tinctoria*)

pukté (*Bucida buceras*)

El aumento en durabilidad natural de estas especies se debe a que por razones poco conocidas el duramen o centro de los árboles queda impregnado con sustancias químicas que son eficaces preservadores. Otra forma de proteger la madera del ataque de hongos es diseñar las estructuras de tal forma que el contenido de humedad de la madera se mantenga a menos de 18 por ciento. En algunos casos ésto consiste en cubrir las tuberías de agua fría con algún aislante para evitar la caida de agua condensada sobre la madera, un buen techado que no tegan goteras y sobresalga lo suficiente, ayudará a proteger los muros de la lluvia, ventilas en los desvanes o en el espacio entre techo y plafón, etc. Si la madera va a estar en contacto directo con el suelo su contenido de humedad probablemente sobrepase el 18 por ciento por lo que debe tratarse con algún preservador por métodos de presión prefe-

rentemente o baño en caliente y frío. Cuando la madera no está en contacto directo con el suelo, pero si expuesta directamente a la lluvia, ésta tiene menos riesgo de ser degradada por hongos, por lo que un tratamiento de preservador por imersión es satisfactorio para protegerla. Cuando la aplicación de la solución preservadora se hace con brocha o por aspersión, la protección que se obtiene es mínima, debido a ésto, únicamente se recomienda para casos de muy poco riesgo.

El tipo de solución preservadora que se emplea depende en muchas ocasiones del uso final de la pieza. Si esta no se va a pintar y la apariencia de la superficie no es importante, la creosota o pentaclorofenol disuelto en aceite oscuro podrían usarse. En cambio, si las piezas de madera se van a pintar o la apariencia es un factor muy importante, entonces lo mejor es utilizar soluciones de sustancias tóxicas en agua o en aceites ligeros o claros (sales tipo CCA o pentaclorofenol.

En el caso de termitas, es aún mucho más importante prevenir el daño que en el caso de los hongos, debido a que una vez que los insectos están en la madera, los métodos de control son muy costosos y difíciles de llevar a cabo con éxito. Cuando sea posible, las construcciones de madera no deben

estar en contacto directo con el suelo a menos que la madera haya sido impregnada correctamente con algún preservador por medio de tratamiento a presión o baño caliente y frío, o sea de alguna especie de conocida resistencia natural a las polillas. En las estructuras de anclaje o cimientos y tuberías de toma o drenaje, instalar escudos metálicos que impiden el paso de termitas subterráneas, cubrir con telas de alambre mosquitero ventanas y ventilas y remover toda la madera cercana a la construcción. En áreas de alto riesgo de ataque por termitas subterráneas, se puede añadir alguna solución insecticida al suelo alrededor de la estructura. Inspeccionar períodicamente (dos veces al año) los cimientos de cóncreto o mampostería y detectar algún inicio de daño causado por los insectos y destruir los túneles que se localicen sobre los cimientos, recordando que estos insectos para sobrevivir necesitan estar comunicados con su nido por medio de ellos para mantener condiciones necesarías de temperatura y humedad. Para evitar el daño por la polilla seca, utilizar especies de madera con resistencia natural a este insecto o aplicar a la madera algún preservador mediante tratamientos de inmersión, aspersión o brocha.

El ataque de taladradores marinos se ha evitado a cierto punto mediante, barreras físicas, así por ejemplo los fenicios recubrían la madera del casco de sus barcos con laminillas de plomo. En épocas recientes se han usado fundos o revestimientos de concreto, arcilla vidriada, hierro fundido, cobre, neopreno, etc., todos ellos con resultados variables y no confiables en alto grado. En ocasiones la coraza o recubrimiento se agrietaba por alguna razón, permitiendo la entrada de los organismos a la madera, la cual degradaban sin ser detectados hasta que el daño estaba muy avanzado, siendo necesario reemplazar la pieza. La mejor protección se lo da a la madera impregnándola a presión con altas retenciones de sales hidrosalubles tipo CCA o con una combinación de creosota y alquitrán de hulla.

Fuego

Otro factor muy importante responsable del deterioro de la madera es el fuego, el cual, al igual que hongos e insectos, no está bien entendido por la mayoría de la gente.

4.1 Consideraciones generales

Los principales componentes químicos de la madera, celulosa, hemicelulosas y lignina, son cumbustible, por lo que la madera también lo es, sin embargo, no porque tenga esta propiedad quiere decir que si se usa en una estructura, ésta no puede ser resistente al fuego en caso de incendio.

4.1.1 Mecanismos de combustión en madera

La madera sometida a altas temperaturas sufre una descomposición o pirólisis, produciéndose alquitranes y gases que al mezclarse con aire pueden inflamarse. La temperatura a la que se inicia la combustión es de 330 a 600°C, dependiendo de que el calor sea convectivo (transmitido por aire) o conductivo (transmitido por otros cuerpos). En presencia de llama, la ignición depende además de la temperatura y del tiempo de exposición a ella.

Para el caso de la madera y su resistencia al fuego, es muy importante la relación entre forma y dimensiones de la pieza. Una astilla prende fácilmente, el fuego se propaga con rapidez y se consume en segundos o minutos. En el caso de una pieza grande con mucho volumen en comparación a su área (ejemplo: una columna de 10 X 10 X 400 cm)

ésta se prende con mayor dificultad que una astilla, la propagación de la flama se reduce considerablemente y se consume muy lentamente. En la superficie se forma una capa de carbón que actúa como aislante, además, a causa de la baja conductividad térmica de la madera, el interior de la pieza se conserva a temperaturas bajas, aunque en el exterior se esté quemando, por lo que la pieza conserva por mucho tiempo gran parte de su resistencia mecánica. La velocidad de penetración para madera de pino puede ser de 4 cm por hora.

La propagación superficial de las llamas en la madera se debe a la combustión de gases producidos por pirólisis, cuando el proceso llega a ser exotérmico.

Durante la combustión parcial de la madera, ya sea en forma de brasa o con la formación de llama, se producen gases y humos tóxicos, especialmente en el primer caso; sin embargo, estos no son tan peligrosos como los producidos por otros materiales, plásticos, fibras, sintéticas, etc. de uso común y extendido en muchas estructuras.

Protección de la madera contra el fuego

Hasta la fecha, no se ha encontrado ningún tratamiento que convierta a la madera en un material incombustible.

Pero tampoco existe estructura alguna que sea cien por ciento a prueba de incendios, no importa si está hecha con materiales incombustibles.

El uso de piezas de madera de grandes dimensiones y combinaciones de varios materiales como tableros de yeso, asbesto, asbesto cemento o mampostería, son técnicas efectivas para que las estructuras resistan incendios, ya que proporcionan aislamiento térmico, se evita la propagación de llamas y previenen el paso de gases entre recintos contiguos.

Para evitar que el fuego se propague de una estructura a otra, es importante que exista una separación entre edificios y los techos y muros exteriores puedan cubrirse con materiales aislantes o incombustibles.

Otro de los recursos preventivos consiste en darle a la madera tratamientos con compuestos químicos hidrosolubles que actúan como retardantes de fuego, especialmente para piezas de pequeñas dimensiones, es decir, poco volumen en relación a una gran superficie.

Lo más importante en los incendios son los contenidos de las estructuras y no el material de que está hecha la estructura.

Preservación de la madera

Si mediante la utilización de especies de madera con durabilidad natural alta y/o factores de diseño no se puede tener gran confianza en que la madera en uso quede protegida contra el ataque de organismos, entonces es necesario que se le proteja mediante la aplicación de algún preservador.

Consideraciones generales

En la actualidad en México se dispone de varios tipos de preservadores de madera, los cuales pueden ser aplicados mediante varios métodos por firmas comerciales o por los mismos usuarios, dependiendo en gran medida de la cantidad y tipo de madera por preservar, tipo de servicio y especialmente el riesgo a la que va a estar sujeta cuando en servicio.

Características de principales preservadores

Los preservadores contienen una serie de principios activos, dependiendo de su composición química. En general, estos productos son, oppueden ser por la propia actividad de los organismos, solubles en sus líquidos corporales o celulares, y al entrar en ellos bloquean la respiración o el metabolismo celular, inhibiendo o matando al organismo.

En el caso de algunos preservadores, su modo de acción consiste en actuar como repelentes, especialmente de insectos. Estos preservadores reunen características como. ser tóxicos a los organismos destructores de madera, penetrar fácilmente a la madera, ser poco liniviables y por ello, tener alto poder residual, poder ser manejados y usados sin peligro a la salud, no dañar a la madera ni a los metales y ser accesibles y económicos en el mercado como en sus métodos de aplicación. Algunos de ellos, además son limpios, incoloros, compatibles con pinturas y barnices, resistentes al fuego o combinaciones de algunas de estas propiedades.

Las soluciones de preservadores más conocidos y usados en México son a base de creosota, pentaclorofenol y sales de cobre-cromo y arsénico.

La creosota es un producto de la destilación de carbón bituminoso, consistente en una mezcla de más de 40 importantes compuestos tóxicos a hongos e insectos. Su aplicación por lo general es por medio de métodos a base de presión. Una desventaja para ciertos usos, que la superficie de la madera queda muy sucia, imposibilitando su pintado, además del mal olor que despide.

El pentaclorofenol es un compuesto de cloro y fenol en forma de polvo verde-grisáceo. Es soluble en aceites y generalmente se aplica concentraciones del 5 por ciento. Se pueden utilizar aceites ligeros claros con los que se obtienen buenas apariencias de la madera tratada, además puede pintarse. Su aplicación puede ser por inmersión, aspersión o a base de métodos a presión.

Las sales hidrosolubles de cobre, cromo y arsénico, comunmente llamadas sales CCA, vienen en varios tipos, todos ellos contienen básicamente los mismos elementos tóxicos a los organismos destructores de la madera pero en diferentes proporciones, razón por la cual la madera tratada con algún tipo necesita una mayor o menor cantidad de sales por unidad de volumen que con la de otro tipo. Todos los tipos de estas sales son igualmente efectivos. La madera tratada con estas sales hidrosolubles queda limpia y se le puede aplicar toda clase de acabados. Por lo general la madera se impregna con métodos a base de presión. Una desventaja es que es necesario volver a secar la madera después de tratada.

Los productos retardantes de fuego actuan en varias formas: aumentan latemperatura requerida para ignición,

previenen o impiden la combustión sotenida, sus propios gases producidos por altas temperaturas diluyen a los gases inflamables y disminuyen la velocidad de propagación de las llamas. Los retardantes de fuego más efectivos son soluciones solas o en combinación de fosfato mono y dibásico de amonia, sulfato de amonia, bórax, ácido bórico y cloruro de zinc. El más eficaz es el fosfato de amonia, ya que no únicamente reduce la inflamabilidad de la madera, sino que previene la formación de brasa. Los retardantes de fuego, por lo general hidrosolubles, se aplican con tratamientos a presión.

En la madera tratada, los preservadores oleosos penetran a los lúmenes y espacios intercelulares, mientras que los hidrosolubles reaccionan químicamente y se precipitan en las paredes celulares.

[illegible] Métodos de tratamiento

Los métodos de aplicación de preservadores son muy variados, van desde los de tipo doméstico hasta los que requieren de modernas plantas de impregnación. En muchas ocasiones la selección del método depende del grado deseado de penetración y retención del preservador, éste último expresado en Kg de preservador por m^3 de madera. El grado

de penetración y retención depende además del método de aplicación, de la anatomía y contenido de humedad de la madera. De éstos, el único factor que no se puede controlar es la anatomía de la madera.

Métodos sin presión

La gran ventaja de estos métodos es que no requieren de equipo caro o complicado y se pueden llevar a cabo con un mínimo de inversión. Tienen como desventajas importantes el que no se pueden alcanzar altas penetraciones y retenciones por lo que no se recomienda para tratar madera con poca permeabilidad o cuando ésta estará expuesta en condiciones con altos riesgos de ser deteriorada por organismos. Los métodos más simples consisten en aplicar la solución preservadora por brocha y por aspersión o baño. Se utilizan cuando los riesgos de deterioro son mínimos o como técnicas de mantenimiento en casos en que la madera ha sido tratada previamente por otros métodos. Con el método de inmersión (por lo regular por períodos de 3 a 5 minutos) se obtienen mayores retenciones y penetraciones y es el más comunmente usado para tratar ventanas y puertas fabricadas con maderas permeables. El método que le sigue en efectividad es el llamado "baño caliente y frío" que consiste básicamente en sumergir la madera en un

recipiente con la solución preservadora a temperatura alta hasta que ésta tenga la misma temperatura que la solución e inmediatamente después sumergirla en otro tanque.con la solución preservadora a temperatura ambiente. Esto causa un vacío parcial dentro de las celulas de la madera que facilita que mediante la presión atmosférica penetre más profundamente y una mayor cantidad de solución preservadora. Con especies de madera permeable se llegan a obtener penetraciones y retenciones de soluciones preservadoras, suficientes para proteger la madera que va a estar en contacto con el suelo. Otro método sin presión muy efectivo pero que se utiliza únicamente con preservadores a base de boro o fluor es el de difusión en madera verde. Esto consiste en sumergir madera con un alto contenido de humedad (entre más cerca a saturación mejor) en tanques de solución de preservadores a base de las sales arriba señaladas, después se estiba la madera muy junta para evitar que la madera se seque y permitir que los ingredientes activos se difundan de la superficie hacia el interior de las piezas de madera. Este método es muy efectivo y se recomienda para maderas poco permeables como son muchas de las tropicales.

Métodos a presión

Estos son los métodos que se utilizan para la aplicación de retardantes de fuego y de insecticidas y fungicidas cuando la madera estará sometida a altos riesgos de ser deteriorada por organismos como es el caso de madera susceptible de ser atacada por taladradores marinos. Estos procesos requieren de autoclaves o cilindros de tratamiento capaces de resistir altas presiones positivas y negativas. Se utilizan bombas neumáticas o hidráulicas y a veces calefacción para calentar la solución preservadora dentro y fuera del cilindro de tratamiento. Estos son los métodos de uso más común.

a) Proceso de célula llena.- Este comprende las siguientes fases: introducción de la madera al cilindro de tratamiento, aplicación de un vacio inicial para extraer el aire de la madera, en seguida, sin romper el vacio se introduce la solución preservadora al término de la cual se aplica presión hidráulica hasta lograr la retención y penetración deseada, se elimina la presión y se desaloja la solución del cilindro. Este proceso se usa comunmente para aplicar preservadores hidrosolubles y retardantes de fuego.

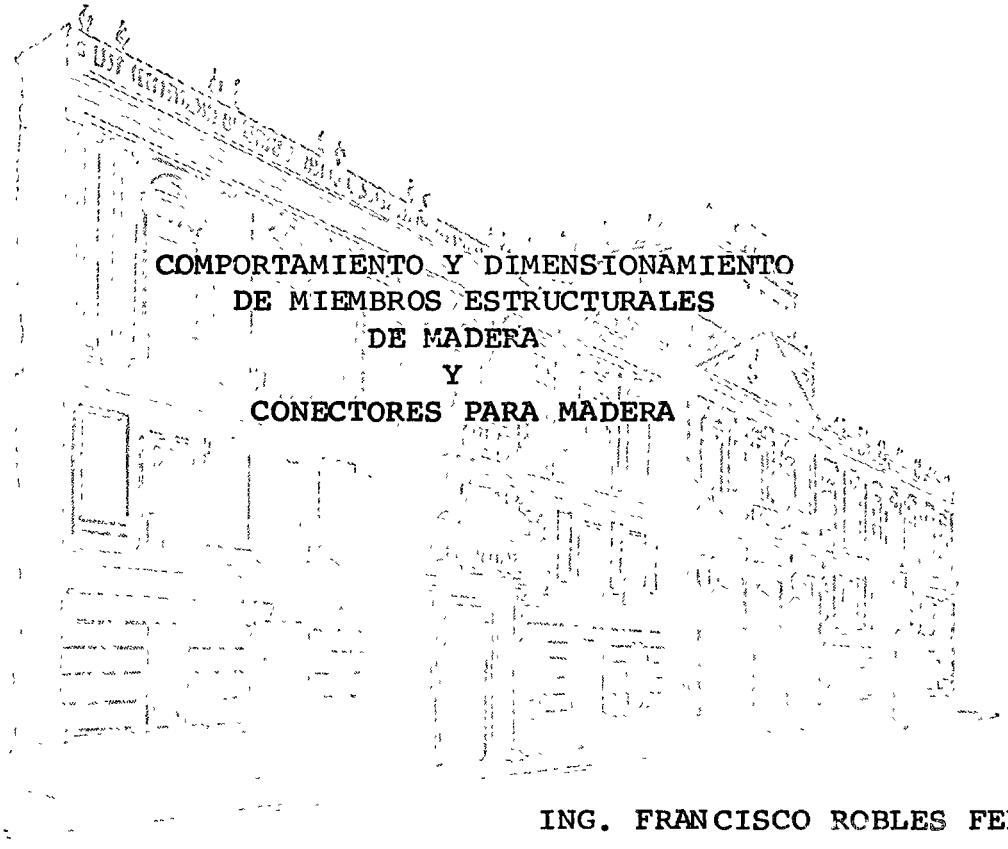
b) Procesos de célula vacía. Son usados principalmente dos tipos, el Rueping y el Lowry. En el primero después de introducir la madera al cilindro de tratamiento, se inyecta aire a presión, e inmediatamente de introduce la solución preservadora y se añade calor, se mantienen estas condiciones hasta lograr la retención deseada, después de la cual se translada la solución preservadora remanente a un tanque de almacenamiento y se aplica un período de vacío para remover solución de la madera y únicamente dejar recubiertas las paredes celulares con el preservador. El proceso Lowry consiste esencialmente de aplicar a través de la solución preservadora, una presión hidráulica a la madera dentro del cilindro de tratamiento hasta obtener la retención y penetración deseada, desalojar el cilindro y aplicar un vacío final. Los procesos de célula vacía se emplean para preservadores oleosos, y dan la oportunidad de economizar solución preservadora, recubriendo únicamente las paredes celulares y dejando poca solución en los lúmenes. Proporciona a la madera una adecuada protección cuando ésta no va a estar sujeta a riesgos muy altos de ser atacada por organismos.

A continuación se presenta un cuadro-guía que puede ser útil en la selección de preservador y método de aplicación, según el riesgo de daño al que va a estar sujeta la madera en uso.

Tipo de solución preservadora	Método de tratamiento	Riesgo de daño
Hidrosolubles, pentaclorofenol, insecticidas	Con brocha, aspersión o baño	Bajo
Hidrosolubles, pentaclorofenol, insecticidas	Inmersión	Bajo
Creosota, pentaclorofenol	Baño caliente-frío	Moderado-Alto
Hidrosolubles (boro y fluor)	Difusión en madera verde	Moderado-Alto
Creosota, pentaclorofenol	Célula vacía	Alto
Hidrosolubles, retardantes de fuego, creosota, pentaclorofenol	Célula llena	Alto-Severo

centro de educación continua
división de estudios superiores
facultad de ingeniería, unam

PROYECTO Y USOS ESTRUCTURALES DE LA MADERA



COMPORTAMIENTO Y DIMENSIONAMIENTO DE MIEMBROS ESTRUCTURALES DE MADERA Y CONECTORES PARA MADERA

ING. FRANCISCO ROBLES FERNANDEZ

JUNIO DE 1976.

C O N T E N I D O

—— o ——

COMPORTAMIENTO Y DIMENSIONAMIENTO DE MIEMBROS ESTRUCTURALES DE MADERA Y CONECTORES PARA MADERA

Francisco Robles
Universidad Autónoma Metropolitana.

1. INTRODUCCION

En esta unidad de estudio se pretende presentar algunos conceptos básicos sobre el comportamiento y el dimensionamiento de elementos estructurales de madera sencillos: miembros* sujetos a flexión (vigas) y miembros sujetos a carga axial o a una combinación de carga axial y flexión (columnas, postes, barras de armaduras). Aunque se pondrá énfasis en el dimensionamiento de miembros enterizos o macizos, formados por una sola pieza, se harán también algunas consideraciones sobre miembros compuestos de varias piezas, miembros de madera laminada y miembros formados por combinaciones de madera ordinaria y triplay.

Además, se describirán los principales conectores o medios de unión utilizados tanto para formar los diversos tipos de miembros compuestos, como para realizar las conexiones entre miembros de madera y entre éstos y elementos estructurales de otros materiales. El detallado de algunos de los conectores y conexiones más comunes, se tratará brevemente.

Como es usual en el diseño de estructuras de madera, los métodos de dimensionamiento expuestos se basan esencialmente en la suposición de un comportamiento elástico. Estos métodos implican que los esfuerzos calculados por teoría elástica debidos a las cargas de trabajo se comparan con unos esfuerzos permisibles que se considera que puede soportar la madera con un grado de seguridad razonable. La manera de establecer estos esfuerzos permisibles se comenta en términos muy generales en el inciso 3, en el que se incluyen también observaciones sobre algunos reglamentos típicos.

* Se entiende por miembro aquí un elemento estructural con dos de sus dimensiones transversales relativamente pequeñas en comparación con su longitud. Quedan excluidos de esta exposición los paneles, diafragmas y elementos semejantes.

En el desarrollo del material de esta unidad se ha supuesto que el lector cuenta con conocimiento de las propiedades mecánicas de la madera, de los factores que influyen en la resistencia de la madera a diversas acciones y de las características particulares de la madera laminada y del triplay o madera contrachapada.

2. MATERIALES DE MADERA COMUNMENTE UTILIZADOS EN MEXICO PARA FINES ESTRUCTURALES

2.1 Madera maciza (o enteriza) ordinaria

Las dimensiones de las piezas se obtienen de las combinaciones de las siguientes medidas:

Ancho: 4, 6, 8, 10, 12 pulgadas

Grosor: 1/2, 3/4, 1, 1-1/2, 2, 2-1/2, 3, 3-1/2, 4 pulgadas

Largo: 8, 10, 12, 14, 16, 18, 20 pies

Se indican a continuación algunas de las escuadrías más usuales:

	Sección
Vigas	4"x8" , 3"x6"
Tablones	más de 2" de espesor
Tabla o duela	menos de 2" de espesor
Polines	4"x4"

Las dimensiones dadas son nominales. Al dimensionar deben considerarse las medidas reales, que dependerán de la forma en que se haya trabajado la pieza (labrada, aserrada, cepillada). Es frecuente que la tabla o duela tenga algún tipo de machihembrado.

En algunas obras civiles, como en los pilotes y las estructuras para puentes provisionales o para muelles marítimos se utilizan escuadrías mayores que las dadas anteriormente. En ocasiones, sobre todo para elementos verticales, los troncos se emplean en su forma natural, sin aserrar. La madera en esta forma se suele denominar "madera en rollo".

Las longitudes usuales varían según la escuadría. Los polines, por ejemplo, suelen tener de tres a cinco metros, mientras que las vigas pueden tener longitudes mayores.

2.2 Triplay

El triplay se produce industrialmente y es de uso común. Se en-

cuentra en placas de 4' x 8' o de 5' de ancho por longitudes entre 5' y 12' con espesores de 1/4" a 5/8".

2.3 Madera laminada y encolada

Todavía no es usual en México el empleo de la madera laminada como material estructural. En los casos en que se ha utilizado esta forma de la madera, las piezas se han fabricado en instalaciones provisionales, con bajo grado de industrialización.

2.4 Productos industrializados de la madera

Existen diversos productos industrializados de madera cuyas características se describen en otra parte del curso.

3. ESFUERZOS PERMISIBLES *

3.1 Consideraciones generales para madera maciza

Para dimensionar elementos estructurales de madera es necesario establecer esfuerzos permisibles que garanticen un grado de seguridad adecuado. Los tipos de esfuerzos requeridos son: 1) compresión paralela a las fibras; 2) compresión perpendicular a las fibras; 3) tensión paralela a las fibras; 4) flexión; 5) esfuerzo cortante paralelo a las fibras.

El esfuerzo de compresión paralela a las fibras se necesita para el dimensionamiento de columnas y otros miembros sometidos a compresión, tales como puntales y determinadas barras de armaduras. El esfuerzo de compresión perpendicular a las fibras hace falta para revisar los apoyos de vigas y ciertos detalles de las conexiones. La tensión paralela a las fibras se emplea para dimensionar las barras de armaduras sometidas a este tipo de esfuerzos. Los esfuerzos de flexión y cortantes se requieren para el diseño de vigas.

La elección de los esfuerzos permisibles convenientes es uno de los aspectos críticos del diseño de elementos estructurales de madera. Además de que las propiedades mecánicas varían mucho según la especie, dentro de la misma especie existe un grado considerable de variabilidad. Por otra parte, influye en la resistencia de la madera toda una serie de factores tales como la duración de la carga, el contenido de humedad, la orientación de las fibras, la dirección de la carga con respecto a las fibras, la forma y tamaño de la pieza y los defectos diversos que pudieran existir.

Como se vió en una unidad anterior, las propiedades mecánicas de la madera se estudian ensayando probetas pequeñas limpias, generalmente de madera verde. Recuérdese que por probeta "limpia" ("clear", en la terminología inglesa) se entiende una probeta de madera de fibra recta, libre de nudos y rajaduras. Es natural suponer que las propiedades resistentes de piezas estructurales difieren considerablemente de las obtenidas con probetas limpias, ensayadas en condiciones en que no intervienen los diversos factores señalados anteriormente. El problema, en

* Parte de este material está basado en los apuntes preparados por el Dr. Roberto Meli para el curso "Usos estructurales de la madera", impartido en el Centro de Educación de la Facultad de Ingeniería (UNAM) en 1974.

tonces, es cómo pasar de los resultados de ensayes con probetas limpias a esfuerzos permisibles que proporcionen una seguridad razonable en las estructuras reales. A continuación se describe una forma de proceder semejante al de las recomendaciones inglesas (CP 112) y una de las alternativas para la determinación de esfuerzos permisibles propuestas en el proyecto de reglamento de construcciones para el Distrito Federal actualmente en estudio (ref 11).

En esencia, el procedimiento para la determinación de esfuerzos permisibles consiste en la obtención de un esfuerzo básico al que se aplican diversas correcciones según las condiciones en que se encuentre el elemento estructural en estudio.

Determinación de esfuerzos básicos

El esfuerzo básico depende de la variabilidad de la especie e involucra un factor de seguridad para tener en cuenta las distintas incertidumbres que existen en el diseño (magnitud de cargas, métodos de análisis, procedimientos constructivos).

La variabilidad de una especie dada se estudia haciendo un análisis estadístico de los resultados de ensayes estándar de probetas limpias, generalmente verdes. En la fig 1 se muestra una distribución típica de módulos de rotura obtenidos de ensayes de flexión. Las distribuciones como ésta así como las correspondientes a otros tipos de resistencia son muy parecidas a las distribuciones gaussianas. Por lo tanto en el análisis de los resultados suelen considerarse aplicables las propiedades de este tipo de distribuciones. En las normas inglesas (CP-112) la variabilidad se toma en cuenta escogiendo valores tales que el 99 por ciento de los resultados de ensayes sean superiores al valor escogido. La reducción respecto al promedio de un conjunto de ensayes, por concepto de variabilidad, depende del tipo de acción. Para compresión y fuerza cortante el factor de reducción es del orden de 0.75.

Para obtener los esfuerzos básicos, los valores determinados en la forma indicada en el párrafo anterior deben dividirse por un factor de seguridad que suele variar entre 1.5 y 2, según el tipo de esfuerzo.

Correcciones diversas

El esfuerzo básico puede considerarse como esfuerzo permisible

cuando la pieza en estudio se encuentre en las mismas condiciones en que se efectuaron los ensayes de las probetas limpias y se encuentra libre de defectos. Cuando existen defectos u otros factores que afectan la resistencia del elemento estructural real los esfuerzos básicos deben modificarse. Se reseñan a continuación los ajustes o correcciones más importantes.

Ajustes por defectos de las piezas.- Las piezas de madera suelen tener defectos que reducen su resistencia: nudos y rajaduras que no existen en las probetas limpias ensayadas para determinar los esfuerzos básicos. La importancia de los defectos se juzga mediante una clasificación que tiene en cuenta el número, posición y dirección de los nudos y rajaduras, la inclinación de las fibras, así como la densidad de los anillos de crecimiento. Los factores de reducción de los esfuerzos básicos se determinan de acuerdo con los dictados de la experiencia y los resultados disponibles de ensayes a escala natural. Estos factores varían entre 0.40 y 0.75, según la clasificación. En México, desgraciadamente, las normas de clasificación se encuentran en estado rudimentario y, con frecuencia, son ignoradas. La norma más utilizada es la C18-1946, de la Dirección General de Normas, que da reglas para clasificar tablas y tablones de ocote según su aspecto. Se distinguen en ella cuatro calidades y grados apropiados para fines estructurales (madera selecta, de 1a, 2a y 3a).

Ajustes por duración de la carga.- En los ensayes de probetas limpias, la carga se aplica rápidamente, mientras que los esfuerzos permisibles se refieren generalmente a cargas permanentes o cargas de duración normal. (Generalmente se considera 10 años una duración normal). El efecto de la duración de la carga se aprecia en la fig 2, que da los factores por los que hay que multiplicar los esfuerzos permisibles correspondientes a cargas de duración normal para obtener los aplicables a otras duraciones.

Ajustes en los esfuerzos de compresión en dirección inclinada con respecto a la fibra.- El esfuerzo permisible de compresión que debe utilizarse en el diseño, cuando la compresión actúa en dirección inclinada con respecto a la fibra, está dado por la siguiente expresión, propuesta por Hankinson:

$$f_{c\theta p} = \frac{f_{cp}}{1 + \left(\frac{f_{cp}}{f_{cmp}} - 1\right) \operatorname{sen}^2 \theta} \qquad (1)$$

en donde

$f_{c\theta p}$ = esfuerzo permisible a la compresión actuando en dirección respecto a la fibra

f_{cp} = esfuerzo permisible a la compresión en dirección paralela a la fibra

f_{cmp} = esfuerzo permisible a la compresión en dirección perpendicular a la fibra

θ = ángulo entre la dirección de la fibra y la fuerza aplicada.

En la fig 3 se muestra una situación en que debe hacerse este tipo de ajuste. Un criterio semejante se utiliza en el dimensionamiento de determinado tipo de conexiones. La gráfica desarrollada por Scholten, que se reproduce con el número A.2.3 en la ref 1, facilita el empleo de la fórmula.

Ajustes por otros factores.- Al escoger los esfuerzos a utilizar en el diseño deben tenerse en cuenta los otros factores mencionados anteriormente, que pueden afectar la resistencia de las piezas de madera.

Los reglamentos y manuales proponen diversas formas de considerar estos factores. El contenido de humedad, por ejemplo, se tiene en cuenta proponiendo dos juegos de esfuerzos permisibles, según se trate de madera húmeda o madera seca. También se da a veces un juego de valores para madera verde con un factor para incrementar estos valores si la madera se va a utilizar en condición seca. El enfoque inverso a éste también es posible. La manera de tener en cuenta el efecto de la forma y del tamaño de la sección en elementos sujetos a flexión se comenta en la sección sobre dimensionamiento de vigas. Otros factores que consideran los reglamentos son los efectos de la temperatura y de la fatiga.

La forma de determinar esfuerzos permisibles que se ha descrito, se funda en el análisis estadístico de los resultados de ensayes de especímenes pequeños de madera limpia. Otro enfoque se basa en el estudio de las variaciones de la densidad de la madera y la correlación entre la densidad y las propiedades mecánicas de la madera. El reglamento del Distrito Federal, actualmente en vigor (ref 8) se basan en un enfoque de este tipo.

Las refs 1 y 2 estudian ampliamente el problema de la determinación de esfuerzos permisibles. En el inciso siguiente se comentan, a título ilustrativo, las recomendaciones de algunos reglamentos típicos.

3.2 Algunas recomendaciones típicas sobre esfuerzos permisibles para madera maciza

Los diversos reglamentos y especificaciones difieren bastante en los criterios con que formulan sus tablas de valores permisibles. Al utilizar una tabla debe investigarse las condiciones para las cuales los valores dados son aplicables, en particular el contenido de humedad y la duración de la carga a que se refieren y la forma en que debe considerarse la clasificación de la madera. Por otra parte debe recordarse que la seguridad de una estructura depende no solamente de los esfuerzos permisibles que se hayan establecido, sino también de los criterios con que se hayan fijado las cargas de trabajo que deben considerarse. Por esta razón el mezclar recomendaciones de carga y recomendaciones de esfuerzos permisibles de reglamentos diferentes puede resultar peligroso.

Se resumen a continuación las principales recomendaciones de tres reglamentos mexicanos, uno de ellos todavía en estudio, que ilustran distintas formas de especificar esfuerzos permisibles. El Reglamento del Distrito Federal (ref 8) hace depender los esfuerzos permisibles de la densidad, sin distinguir entre especies. El proyecto de reglamento en estudio en el Instituto de Ingeniería (UNAM) (ref 11), con un criterio aún más simplista, da un juego de valores único que sólo tiene en cuenta la clasificación de la madera. Ambos reglamentos intentan reconocer la realidad del medio: es escasa la información sobre características mecánicas de la madera. Subsiste el problema de la clasificación que, como se señaló anteriormente, se efectúa en forma muy rudimentaria.

Las especificaciones de SOP (ref 7) sí dan esfuerzos para algunas especies y tienen un formato parecido al de muchos manuales y reglamentos de los Estados Unidos y Europa.

Reglamento de Construcción del Distrito Federal (ref 8)

En el reglamento actualmente en vigor se especifican esfuerzos permisibles para los distintos tipos de madera a través de correlaciones entre estos esfuerzos permisibles y la densidad de la madera. La tabla 1 de los esfuerzos propuestos en función da la densidad relativa γ. Cuando se desconoce la densidad relativa, γ, se permite considerar que $\gamma = 0.4$. Los esfuerzos correspondientes también se consignan en la tabla citada.

TABLA 1. ESFUERZOS PERMISIBLES SEGUN EL REGLAMENTO VIGENTE DEL DISTRITO FEDERAL

Concepto	Valor en Kg/cm^2	
	Para cualquier	Para $\gamma = 0.4$
Esfuerzo en flexión o tensión simple	$196\ \gamma^{1.25}$	60
Módulo de elasticidad en flexión o tensión simple	$196000\ \gamma$	79000
Esfuerzo en compresión paralela a la fibra	$143.5\ \gamma$	57
Esfuerzo en compresión perpendicular a la fibra	$54.2\ \gamma^{2.25}$	7
Módulo de elasticidad en compresión	$238000\ \gamma$	95 000
Esfuerzo cortante	$35\ \gamma^{1.25}$	10

Los esfuerzos de la tabla son aplicables a maderas de primera, según la clasificación de la norma C18-1946 de la Dirección General de Normas. Para las maderas selectas, especificadas en dicha norma, los valores se pueden incrementar en un 30%. Para maderas de segunda se tomará el 70% de los valores dados, y, para maderas de 3a, el 50%.

Aunque el reglamento no lo indica explícitamente, los esfuerzos dados parecen referirse a madera seca, es decir, con un contenido de humedad menor que 18%. Para maderas saturadas o sumergidas, el esfuerzo de compresión paralelo a la fibra debe reducirse 10%; el de compresión perpendicular a la fibra, 33%; y los módulos de elasticidad, 10%

El efecto del tiempo, para duraciones de carga inferiores a dos meses, se tiene en cuenta incrementando los esfuerzos de la tabla 1 en los porcentajes indicados en la tabla 2.

TABLA 2. INCREMENTOS DE ESFUERZOS PERMISIBLES PARA CARGAS DE CORTA DURACION (ref 8)

Duración	Incremento en %
2 meses	15
7 días	25
viento o sismo	50
impacto	100

El Reglamento no indica claramente cómo determinar la densidad de la madera. Según un estudio realizado en el Instituto de Ingeniería de la UNAM (ref 16), si se parte de la relación peso anhidro y volumen anhidro se obtienen valores excesivamente altos, sucediendo lo contrario si se utiliza la relación peso anhidro y volumen verde. Aparentemente se obtienen valores razonables de los esfuerzos si las densidades se determinan en una condición intermedia, refiriendo el peso anhidro al volumen correspondiente a un contenido de humedad de 15%. El valor arbitrario de $\gamma = 0.40$ casi siempre conduce a valores muy conservadores de los esfuerzos permisibles.

Proyecto de Reglamento de Construcciones del Distrito Federal (ref 11)

El proyecto de reglamento actualmente en estudio en el Instituto de Ingeniería (UNAM) propone dos alternativas fundamentales para la determinación de esfuerzos permisibles. Una de ellas establece esfuerzos aplicables a cualquier especie y que varían únicamente con la clasificación. Según la otra se puede tener en cuenta la especie, si se hacen pruebas adecuadas y se interpretan los resultados de éstas por procedimientos estadísticos. Se comenta a continuación la primera alternativa, que tiene en su favor la sencillez.

En la tabla 3 se dan los esfuerzos permisibles que se recomiendan para la condición verde de la madera, y cargas permanentes. Las calidades indicadas son las que establece la Norma C 18-1946 de la Dirección General de Normas. Se prohibe el uso de la madera de tercera en estructuras permanentes. Se propone otro conjunto de valores ligeramente superiores si la madera se clasifica con las reglas para clasificación visual especificadas en el proyecto de reglamento.

TABLA 3. ESFUERZOS PERMISIBLES EN Kg/cm^2, PARA CONDICION VERDE Y CARGA PERMANENTE CUANDO LA MADERA SE CLASIFICA CON LA NORMA C18-1946 DE LA DGN (PROYECTO REGLAMENTO D.F.)

Concepto	Calidad			
	Selecta	Primera	Segunda	Tercera
Flexión y tensión	80	60	30	20
Compresión paralela a la fibra	70	50	35	25
Compresión perpendicular a la fibra	14	14	9	7
Cortante paralelo a la fibra	14	14	7	5
Módulos de elasticidad ($x10^3$):				
Medio	70	70	70	70
Mínimo	40	40	40	40

Cuando el contenido de humedad es inferior a 18%, los esfuerzos de la tabla 3 se pueden aumentar en los siguientes porcentajes: 10% para flexión y tensión; 20% para compresión paralela a la fibra, 50% para compresión normal a la fibra y 10% para el módulo de elasticidad. Los miembros con secciones superiores a 15 cm x 15 cm se dimensionarán siempre con valores correspondientes a la condición verde, por la dificultad del secado de piezas grandes.

El efecto del tiempo se tiene en cuenta aumentando los esfuerzos de la tabla 3 en los porcentajes dados en la tabla 4.

TABLA 4. INCREMENTOS DE ESFUERZOS PERMISIBLES SEGUN LA DURACION DE LA CARGA (ref 11)

Duración	Incremento en %
10 años (carga viva)	15
2 meses (nieve)	25
1 hra (viento o sismo)	50
1 min (impacto)	100

TABLA 5. ESFUERZOS PERMISIBLES EN kg/cm^2 SEGUN ESPECIFICACIONES SOP (APLICABLES PARA CARGA DE DURACION NORMAL, CUALQUIER CONTENIDO DE HUMEDAD Y ESTRUCTURAS EN UN AMBIENTE SECO).

Especie	Calidad	Tensión Paralela a la fibra	Compresión Paralela a la fibra	Compresión Perpendicular a la fibra	Cortante	Flexión	Módulo de Elasticidad
Pino blanco	1a	65	60	18	6	80	85 000
Pino lacio	2a	55	50	18	6	60	85 000
Pino prieto	1a	75	70	20	8	90	90 000
Pino real, Cedro	2a	65	60	20	8	70	90 000
Encino	1a	100	95	25	10	120	100 000
	2a	85	75	25	10	90	100 000
Zapotillo	1a	110	100	25	10	110	110 000
	2a	95	80	25	10	95	110 000

Los esfuerzos permisibles dados en la tabla 5 son aplicables para madera en cualquier contenido de humedad, utilizadas en estructuras que se encuentran en un ambiente seco (armaduras para cubiertas de techo, etc.). Si la madera va a estar expuesta a la humedad, los esfuerzos permisibles deben reducirse de acuerdo con los coeficientes de la tabla 6.

TABLA 6. COEFICIENTES DE CORRECCION POR HUMEDAD

Concepto	Flexión o Tensión	Compresión Paralela a las fibras	Compresión Normal a las fibras	Esf. cortante Paralelo de las fibras	Módulo elástico
Coeficiente	1.00	0.90	0.67	1.00	0.92

Se considera también que los esfuerzos de la tabla 5 son válidos únicamente para cargas de duración normal. Se entiende por cargas de duración normal aquellas que se aplican a los elementos estructurales en forma contínua o acumulativa durante un período de aproximadamente 10 años. Cuando la carga se considere actuando más de 10 años, los esfuerzos permisibles se reducirán en 10%. Cuando las cargas actúan durante períodos cortos los esfuerzos permisibles de la tabla 5 se pueden incrementar en los porcentajes dados en la tabla 7.

TABLA 7. INCREMENTOS DE ESFUERZOS PERMISIBLES SEGUN LA DURACION DE LA CARGA (ref 7)

Duración	Incremento en %
7 días	25
1 día (viento o sismo)	33.3
Impacto	100

3.3 Esfuerzos permisibles para madera laminada-pegada

En el diseño de miembros laminados se suelen admitir esfuerzos permisibles mayores que los usuales para miembros de madera maciza hechos con madera de igual clasificación. Esto se funda en las consideraciones siguientes:

a) Se cuenta con una mayor uniformidad gracias a la selección de tablas utilizadas.

b) Existe una mayor dispersión de los defectos naturales. Como las tablas son de espesor pequeño, la influencia de los defectos es menor que en las piezas de madera maciza. La presencia de un nudo, por ejemplo, afecta únicamente a una de las tablas del conjunto laminado.

c) El secado es uniforme y completo gracias al pequeño espesor de las tablas. En piezas macizas de dimensiones grandes, por el contrario, el secado con frecuencia es imperfecto.

Como se señaló en otro lugar, existe poca experiencia en México con el uso de madera laminada. Las únicas recomendaciones disponibles son

las que figuran en las "Especificaciones para Madera" de la Secretaría de Obras Públicas (ref 7). Se reseñan a continuación las principales recomendaciones de estas especificaciones en relación con esfuerzos permisibles.

Según la ref 7 los esfuerzos unitarios permisibles establecidos para madera maciza (algunos de los cuales se consignan en la tabla 5) para cargas de duración normal se consideran aplicables a la madera estructural laminada-pegada, cuando el contenido en el ambiente sea mayor de 15%. (Recuérdese que para madera maciza estos esfuerzos permisibles solamente son aplicables para estructuras protegidas de la humedad). Para otras duraciones de carga se harán ajustes como para madera maciza. En ambientes en que se garantice que el contenido de humedad no excederá del 15%, como suele suceder en las estructuras cubiertas, los esfuerzos permisibles pueden incrementarse de acuerdo con los porcientos indicados en la tabla 7.

TABLA 8. INCREMENTOS DE ESFUERZOS PERMISIBLES PARA MADERA LAMINADA EN AMBIENTE SECO

Concepto	Incremento en %
Flexión	25
Tensión paralela a las fibras	25
Compresión paralela a las fibras	37
Esfuerzo cortante	15
Compresión normal a las fibras	50
Módulo de elasticidad	12

En el caso de miembros sujetos principalmente a flexión deben tomarse en cuenta las siguientes consideraciones adicionales. Si el plano de las láminas coincide con el planodde flexión, como es la fig 4a, son aplicables los esfuerzos que se acaban de describir. Para miem-

bros en los que el plano de momento flexionante es normal a las caras mayores de las láminas, como en la fig 4b, se permitirá aumentar los esfuerzos permisibles del caso anterior en los porcentajes indicados en la tabla 8.

En miembros curvos deben hacerse correcciones para tener en cuenta los esfuerzos adicionales debidos al doblado de las láminas y los esfuerzos radiales que actúan normalmente a los de flexión, cuando actúan momentos exteriores en las partes curvas del miembro.

Por último, en vigas laminadas, al igual que en las de madera maciza, deben hacerse ajustes para tener en cuenta los efectos del peralta y la forma de la sección.

Para aplicar las especificaciones de la Secretaría de Obras Públicas, es necesario conocer la especie de la madera y sus propiedades. Cuando se desconoce esta información se concibe la posibilidad de hacer ajustes en los esfuerzos permisibles recomendados en las referencias 8 y 11, en proporciones semejantes a las correcciones propuestas en las especificaciones mencionadas.

Para mayor información sobre propiedades mecánicas y esfuerzos permisibles en estructuras de madera laminada-pegada, consúltese el capítulo 4 de la ref 1, el capítulo 10 de la ref 4 y las tablas que proporciona la ref 9.

3.4 Esfuerzos permisibles para triplay

Como se vió en otra parte del curso, el triplay está formado por conjuntos de láminas de madera, unidas con algún pegamento y colocadas de manera que la fibra de cada lámina es perpendicular a la de las láminas contíguas. Esto hace que en general la resistencia y rigidez de una pieza de triplay sean menores que las de una pieza de madera enteriza.

La menor resistencia y rigidez del triplay respecto a la madera ordinaria se deben a que las capas del triplay, cuyas fibras son perpendiculares a la dirección del esfuerzo, contribuyen poco a la resistencia del elemento. Sin embargo, la alternancia de capas con fibras perpendiculares entre sí hace que la resistencia a esfuerzos cortantes producidos por fuerzas que actúan en el plano de las placas de triplay, como sucede en los diafragmas y en vigas compuestas con alma de triplay,

sea mayor que para madera maciza.

Los esfuerzos permisibles requeridos para el dimensionamiento de elementos de triplay varían de acuerdo con la especie de las láminas que los integran y el tipo de pegamento. En la tabla 9 se dan rangos de valores típicos. Estos valores se basan en la ref 17 y corresponden a triplay producido en los Estados Unidos. Para los valores aplicables a productos nacionales, es necesario recurrir a las especificaciones de los fabricantes o hacer ensayes.

TABLA 9. ESFUERZOS PERMISIBLES TIPICOS EN kg/cm^2 PARA TRIPLAY APLICABLES PARA CARGA NORMAL (10 AÑOS) Y AMBIENTE SECO

Tipo de esfuerzo	Esfuerzo permisible
Tensión y flexión (fibras de la cara exterior paralelas o perpendiculares al claro	70 - 140
Compresión (en dirección perpendicular o paralela a las fibras de la cara exterior)	65 - 115
Aplastamiento (compresión perpendicular a las caras)	11 - 24
Esfuerzo cortante en planos perpendiculares a los planos de las capas del triplay (paralelo o prependicular a las fibras de las caras exteriores)	11 - 17
Esfuerzo cortante rodante en el plano de las capas del triplay (paralelo o perpendicular a las fibras de las caras exteriores)	3.5 - 4
Módulo de elasticidad en flexión (fibras de las caras exteriores perpendiculares al claro)	63 000 - 126 000

Los esfuerzos dados en la tabla 9 se refieren a cargas de duración normal (aproximadamente 10 años) en estructuras en un ambiente seco en el que el contenido de humedad sea inferior a 16%. La ref 17 indica las correcciones que deben hacerse para condiciones diferentes de éstas.

Al calcular esfuerzos producidos por las cargas de trabajo para compararlas con los esfuerzos permisibles debe tenerse en cuenta la estructura peculiar del triplay. Esto significa que, en general, los cálculos de esfuerzos no pueden hacerse a partir de las propiedades de sección deducidas de las dimensiones de la misma, como es el caso de secciones de madera maciza. Para simplificar el cálculo de esfuerzos en triplay los manuales dan propiedades "efectivas" de secciones de ancho unitario que tienen en cuenta la estructura peculiar del triplay, de tal manera que el proyectista puede proceder como si se tratara de una placa homogénea ortotrópica, es decir, de una placa con propiedades distintas en dos direcciones perpendiculares. Así los manuales dan valores distintos de espesores, áreas y módulos de sección según la dirección considerada. Para el cálculo de deformaciones también se da un momento de inercia distinto para cada dirección. Debe observarse que el módulo efectivo dado para cálculo de esfuerzos no coincide con el que resultaría de dividir el momento de inercia efectivo dado para el cálculo de deformaciones por la mitad del peralte. La manera de obtener las propiedades efectivas de secciones de triplay se trata en el capítulo 4 de la ref 1.

La tabla 9 da esfuerzos cortantes para dos casos: esfuerzos cortantes en planos perpendiculares a las capas de triplay, es decir, a través del espesor del triplay, y esfuerzo cortante "rodante".

Los esfuerzos cortantes permisibles a través del espesor del triplay se refieren al caso de placas sujetas a un marco en todos los lados. Cuando la placa está sujeta en sólo dos lados, los esfuerzos permisibles dados deben multiplicarse por 0.89 cuando la sujeción se efectúa en lados paralelos a las fibras de las caras, y, por 0.75, cuando se hace a lo largo de los lados perpendiculares a las fibras de las caras.

Los esfuerzos cortantes "rodantes" deben revisarse en placas de triplay sometidas a cargas normales a su plano. En esta condición de carga las fibras de la madera en las capas perpendiculares a la fuerza cortante tienden a "rodar", como se muestra en la fig 5. La resistencia a este tipo de esfuerzos es baja, pero es raro que resulte crítica.

El dimensionamiento de elementos de triplay sometidos a fuerzas transversal, como en algunos sistemas de piso, o a fuerzas que actúan en el plano de las placas de triplay como sucede en los elementos que funcionan como diafragmas, es facilitado por las tablas de capacidades de carga que proporcionan los manuales y las especificaciones de los fabricantes.

4. CONECTORES

4.1 Consideraciones generales

El dimensionamiento de las conexiones o uniones es el aspecto más difícil del diseño de estructuras de madera. Como en las estructuras de otros materiales, es importante reconocer que el comportamiento del conjunto estructural no será adecuado si las conexiones no tienen la resistencia necesaria para que los elementos estructurales que unen puedan desarrollar la capacidad requerida de ellos.

El comportamiento de las conexiones de madera depende de la orientación de la carga con respecto al conector y de éste con respecto a la fibra de la madera.

Es tan complejo que es difícil establecer métodos de análisis racionales y matemáticos. Por lo tanto, el dimensionamiento suele basarse en tablas de capacidades y fórmulas empíricas.

Los elementos de unión o conectores más comúnmente utilizados para formar conexiones son los clavos, los pernos, las pijas, los tornillos, las placas de metal y los pegamentos o colas de diversos tipos. Además, existen conectores patentados tales como los de anillo abierto, los de placa para esfuerzo cortante y los de rejilla. Los conectores patentados, de uso común en Europa y los Estados Unidos, son todavía poco utilizados en México.

En los incisos siguientes se describen brevemente las características, el uso y el comportamiento de algunos de los principales tipos de conectores. Se ha puesto énfasis en los más comunes: los clavos, los tornillos y los pernos. El material referente a estos conectores se basa esencialmente en las recomendaciones del proyecto de Reglamento para las Construcciones para el Distrito Federal (ref 11), que son simples. Para mayor sencillez, las recomendaciones comunes a estos tres tipos de conectores se resumen en el inciso 4.2.

Para más información sobre conectores puede consultarse la sección 29.5 de la ref 3, el capítulo 6 de la ref 1, el capítulo 5 de la ref 4, el capítulo 16 de la ref 5, el capítulo 4 de la ref 6. El tratamiento más completo es el de la ref 1. Puede encontrarse información adicional en manuales y reglamentos como las referencias 7, 8, 9, 10 y 12.

Para casos en que las conexiones van a estar expuestas a variaciones de humedad y cuando la madera está verde, cuando se realiza la unión, deben seguirse criterios más conservadores que los usuales.

4.2 Recomendaciones generales para conectores del proyecto de Reglamento de las Construcciones para el Distrito Federal (ref 11)

La ref 11 da unas recomendaciones generales aplicables a todo tipo de conectores. De acuerdo con estas recomendaciones las cargas permisibles especificadas son independientes de la calidad de la madera y se refieren a condición de carga permanente. Para duraciones cortas de carga se podrán dar los incrementos indicados en la Tabla 10.

TABLA 10. INCREMENTOS A LAS CARGAS PERMISIBLES PERMANENTES, POR DURACION DE CARGA (%)

(t es el espesor en mm del elemento unido y D, el diámetro en mm del conector.)

DURACION Tipo de carga conector	Carga viva (10 años)	Nieve (2 meses)	Viento o sismo (1 hr)	Impacto (1 min)
Clavos, tornillos, pernos con $t/D > 6$	8	13	25	50
Pernos con $t/D < 6$	15	25	50	100

En lo que se refiere a contenido de humedad, se establece que los valores permisibles dados son aplicables a maderas con un contenido de humedad superior al 18%, o a uniones que quedan expuestas a la intemperie. Para uniones hechas en madera con un contenido de humedad menor que 18% las cargas permisibles podrán aumentarse en un 40%.

Cuando se utilizan varios conectores en una unión, la capacidad permisible de carga será la suma de las capacidades de carga de los conectores considerados individualmente.

4.3 Clavos

Existe una gran variedad de clavos que se distinguen por el tipo de cabeza y de punta, el diámetro y la naturaleza del tratamiento de la superficie del caño. Los tipos más usuales se fabrican de alambre liso y su longitud varía entre 3/4" y 8". En la fig 6 se muestran algunos clavos típicos. Los de doble cabeza son útiles en cimbras que deben desclavarse al descimbrar.

Los clavos pueden utilizarse de dos maneras: aprovechando su resistencia a cargas laterales o su resistencia a la extracción. La primera modalidad es más eficiente. En la fig 7 se muestran estos dos usos gráficamente. Generalmente se limita su empleo a la unión de piezas con espesores inferiores a unos cinco cm.

Resistencia a las cargas laterales

Según la ref 11, la capacidad de carga permisible en kg de una unión de dos miembros de madera, como la mostrada en la fig 7 (a), hecha con un clavo hincado perpendicularmente a las fibras, está dada por la siguiente expresión:

$$P_1 = 12.75\,\gamma\, D^{1.5} \qquad (2)$$

donde γ es la densidad relativa de la muestra determinada de su peso anhidro y su volumen a un contenido de humedad mayor del 30% y D es el diámetro del clavo en mm. Si no se conoce γ se permite usar $\gamma = 0.4$, que es una estimación conservadora de la densidad relativa.

Para que la capacidad dada por la expresión anterior sea válida, la penetración de la punta del clavo en el miembro que la recibe debe ser cuando menos 14 veces el diámetro del clavo, y el miembro en contacto con la cabeza deberá tener cuando menos un espesor de 10 veces el diámetro del clavo.

Para los espaciamientos entre clavos se recomiendan los siguientes valores mínimos, en donde D es el diámetro del clavo en mm:

a) Cuando la fuerza actúa en la dirección de las fibras:

5 D entre hileras de clavos
5 D de los bordes
20 D de los extremos
20 D entre clavos a lo largo de las fibras

b) Cuando la fuerza actúa normalmente a las fibras:

10 D entre hileras de clavos
5 D del borde no cargado
10 D del borde cargado
20 D entre clavos a lo largo de las fibras

Para clavos hincados en el extremo de un miembro, paralelamente a las fibras, la carga será el 60% de la correspondiente al ser hincadas normalmente a éstos.

Además de estas recomendaciones, que son las esenciales, la ref 11 abarca casos particulares como el de placas metálicas combinadas con los clavos, la unión de tres o más miembros y otros.

Puede apreciarse que, puesto que no involucran la especie de la madera, las recomendaciones de la ref 11 son fáciles de aplicar, aunque probablemente conservadoras. Otras recomendaciones dan expresiones para calcular la resistencia lateral que contienen una constante que varía según la especie.

Resistencia a la extracción

La resistencia a la extracción de los clavos fig 7 (b), depende de la dirección de la penetración del clavo con relación a la dirección de las fibras, el tipo de punta, la profundidad de penetración, el diámetro, el acabado superficial y la especie, densidad y contenido de humedad de la madera.

En la ref 11 se propone la siguiente expresión para determinar la capacidad permisible en extracción en kg por centímetro de penetración en la pieza que contenga la punta:

$$P_2 = 11 \cdot \gamma^{5/2} D \qquad (3)$$

donde γ y D tienen el mismo significado que en la ecuación (2). Como para la resistencia a cargas laterales, cuando se desconoce el valor de la densidad relativa puede suponerse $\gamma = 0.4$.

Se aprecia que en la expresión propuesta en la ref 11 se considera únicamente la influencia del diámetro y de la densidad relativa, como una manera sencilla de tener en cuenta la especie.

Otros reglamentos dan valores diferentes para las diversas especies.

Las cargas permisibles dadas por la ecuación (3) son aplicables a clavos de superficie lisa empleadas en uniones hechas con madera, ya sea seca o en condición verde, que no será sometida a cambios de humedad.

No se permite el empleo de clavos hincados paralelamente a las fibras, sujetos a cargas de extracción.

Los espaciamientos mínimos entre clavos serán los correspondientes al caso de carga lateral cuando la fuerza actúa en la dirección de las fibras.

Algunos detalles especiales de uniones con clavos

Unión de miembros inclinados entre sí.- En una situación como la mostrada en la fig 8 (a) el clavo debe quedar perpendicular a la fibra en el miembro que recibe la punta y debe dimensionarse para que resista lateralmente la componente horizontal de la carga. En la fig 8 (b) se ilustra una condición en que la componente vertical de la fuerza en el miembro inclinado implica una carga de extracción sobre el clavo. En este caso el clavo debe dimensionarse para resistir tanto la carga de extracción como el empuje lateral debido a la componente horizontal.

Clavos inclinados.-Muchos detalles de unión requieren que los clavos se hinquen en dirección inclinada. En la fig 9 se muestran uniones entre elementos machihembrados para pisos o techos. Cuando se preven cambios volumétricos de la madera, que originen separaciones entre las tablas, los clavos deben dimensionarse para resistir las fuerzas laterales y de extracción indicadas en la fig 9 (a) , debidas a las cargas verticales. Cuando el ajuste entre las tablas es adecuado, como se indica en la fig 9 (b),

no actuan fuerzas sobre el clavo. En realidad, la función más importante de estos clavos es la transmisión de fuerzas cortantes entre duelas, como se indica en la fig 9 (c), lo que es importante cuando el piso debe actuar como diafragma. En este caso los clavos quedan sujetos a empujes laterales exclusivamente.

En las figs 10 (a) y 10 (b) se muestran otrosd detalles de unión con clavos inclinados, utilizados cuando no existe acceso para clavar en la forma indicada en la fig 10 (c) que suele ser preferible

Existe un tipo de unión ("toe/nailedconnection" en la nomenclatura inglesa) en el que es obligado utilizar clavos inclinados. Se trata de uniones entre dos miembros cuyos ejes longitudinales se encuentra en el plano de una unión, como en la fig 11. Si los clavos se hincan en dirección paralela a las fibras de uno de los miembros la resistencia a la extracción sería demasiado baja. Suelen considerarse como cargas permisibles para clavos inclinados en este tipo de uniones, 83% de la carga permisible lateral y 67% de la carga permisible de extracción, si los clavos se hincan con una inclinación de aproximadamente 30° y se introducen a una distancia del extremo de la pieza igual a la tercera parte de la longitud del clavo aproximadamente.

4.4 Tornillos para madera y pijas

Los tornillos para madera varían en longitud de 1/2" a 3" y pueden tener diversos diámetros. Se introducen en la madera con la ayuda de un desarmador en un agujero guía taladrado previamente. Las pijas tienen rosca como los tornillos, pero su longitud puede llegar a ser de 12". También requieren un agujero guía para su fijación, que se efectúa con llaves de tuercas. En la fig 12 se muestran tornillos y pijas típicas. El comportamiento de los dos elementos de unión es semejante y por ello la ref 11 propone recomendaciones comunes a ambos, algunas de las más importantes de las cuales se reseñan en los párrafos siguientes. Como en el caso de las recomendaciones para clavos, las capacidades permisibles se hacen depender exclusivamente de la densidad relativa de la madera, sin involucrar la especie.

Al igual que los clavos, los tornillos y las pijas pueden utilizarse de dos maneras para efectuar conexiones entre elementos de madera: aprovechando sea su resistencia a la extracción o sea su resistencia a las cargas aplicadas lateralmente. Los diámetros utilizados en las expresiones de capacidad permisible de carga son los que corresponden a la caña lisa. En estas expresiones, γ y D tienen el mismo significado que para los clavos y también se puede tomar igual a 0.40, si se desconoce el valor real. Se recomienda que los agujeros guía para los tornillos tengan los si-

guientes diámetros: el correspondiente a la caña lisa para recibir a ésta y el correspondiente a las 2/3 del de la caña lisa, como máximo, para recibir la parte roscada.

Resistencia a cargas laterales

En uniones como la mostrada en la fig 13 (a), en las que el tornillo es insertado perpendicularmente a las fibras, la capacidad de carga en kg está dada por

$$P_3 = 3.75 \gamma D^2 \qquad (4)$$

Las capacidades de carga dadas por esta expresión son aplicables cuando los tornillos penetran en el miembro que recibe la punta una distancia igual a siete veces el diámetro de la caña lisa y cuando los espaciamientos mínimos de los tornillos en función del diámetro de la caña, D; sean los siguientes:

1) Cuando la fuerza actúa en la dirección de las fibras:

3 D entre hileras de tornillos
5 D de los bordes
10 D entre tornillos adyacentes en la dirección de las fibras
10 D de los extremos

2) Cuando la fuerza actúa en dirección normal a las fibras:

5 D entre hileras de tornillos
5 D del borde no cargado
10 D del borde cargado
10 D entre tornillos adyacentes en la dirección del grano

Como en el caso de los clavos, la ref 11 da recomendaciones adicionales para situaciones particulares.

Resistencia a la extracción

La capacidad de carga permisible en kg de tornillos sometidos a fuerzas de extracción, como en la fig 13 (b), e insertados en dirección

perpendicular a la fibra, por centímetro de penetración de la caña roscada en la pieza que contenga la punta, está dada por

$$P_4 = 15.00 \gamma^2 D \qquad (5)$$

Esta expresión es válida cuando los espaciamientos mínimos de los tornillos sean los correspondientes al caso de carga lateral cuando la fuerza es paralela a las fibras y cuando la capacidad del tornillo a la tensión no sea sobrepasada.

La capacidad permisible a la extracción de un tornillo insertado paralelamente a las fibras será el 75% de la correspondiente al ser insertado perpendicularmente a las fibras, cuando la distancia entre tornillos no sea menor de 10 D.

4.5 Pernos

El perno es uno de los elementos de unión de uso más común porque permite realizar conexiones de considerable resistencia con relativa sencillez. Los pernos pueden ser con cabeza en un extremo y rosca con tuerca en ambos extremos. Su longitud y su diámetro son muy variables. El diámetro varía entre 1/4" y 3".

Generalmente se emplean en combinación cor rondanas. Suele recomendarse que el diámetro de los agujeros en los que se coloquen los pernos no exceda en más de 1.6 mm al de los pernos.

Las principales variables que influyen en la capacidad de una conexión hecha con pernos son la especie, la clasificación y el contenido de humedad de la madera, la geometría de la unión y la distancia de los pernos a los bordes y extremos de las piezas unidad. Antes de reseñar las recomendaciones empíricas que se proponen en la ref 11, se describirá brevemente el comportamiento de algunas uniones sencillas para ilustrar la complejidad de las uniones entre elementos de madera.

Consideremos primero la unión de dos piezas de madera unidas a una tercera pieza central, más gruesa, como se indica en la fig 14 (a). La forma en que se aplica la carga se muestra en la misma figura. Como el agujero en que se coloca el perno es un poco mayor que el diámetro de éste, se presenta un deslizamiento inicial en el momento en

que se aplica la carga. Una vez que el perno se ha apoyado firmemente contra la madera la relación carga-deslizamiento es lineal hasta una carga que es bastante menor que la resistencia última de la conexión. A partir de este momento la carga produce aplastamiento en las caras en contacto de los miembros de madera. La curva se va tendiendo a medida que progresa el aplastamiento de las fibras y se va deformando el perno. Las cargas permisibles suelen establecerse de manera que sean del orden de la mitad del límite de proporcionalidad. En la fig 14 (b) se muestra cualitativamente una gráfica carga-deslizamiento típica.

Pueden hacerse las siguientes consideraciones sobre uniones del tipo descrito. Cuando más densa y resistente sea la madera y mayor el diámetro del perno, mayor será la resistencia de la unión. La resistencia del perno no afectará el límite de proporcionalidad de la conexión a no ser que el perno sea tan débil que empiece a doblarse antes de que se inicie el aplastamiento de las fibras de madera; cuanto más tiempo permanezca recto el perno, tanto más uniforme será la distribución de esfuerzos de aplastamiento en la madera. Una conexión con los miembros laterales o el miembro central muy delgado fallará a una carga baja; existe una condición balanceada entre los espesores de los miembros unidos, tal que los tres miembros alcanzan un estado crítico simultáneamente. Si el perno está demasiado cerca del extremo de los miembros el comportamiento es muy distinto: la falla sobreviene por rajaduras longitudinales de la madera.

Si los miembros se unen como en la fig 15, de manera que en el miembro central las fuerzas actúan en sentido perpendicular a las fibras la resistencia que puede desarrollarse es mucho menor que en en el caso anterior. Esto se debe a que la pieza central se ve sometida a esfuerzos de tensión perpendiculares a las fibras. Como es sabido la resistencia de la madera a este tipo de esfuerzos es baja.

Es frecuente tener que unir miembros con sus ejes inclinados entre sí, como se muestra en la fig 16. En este caso debe recurrirse a la fórmula de Hankinson, como se indica en la reseña de las recomendaciones de la ref 11 que se presenta más adelante.

Es posible unir sólo dos miembros por medio de un perno, como se indica en la fig 17. Es evidente que el comportamiento de este tipo de conexión será menos favorable que el de las descritas anteriormente porque se cuenta con un sólo plano de resistencia a cortante, las fuerzas actúan excéntricamente, el perno queda sujeto a una flexión fuerte y el aplastamiento de la madera se inicia a una carga baja.

En la fig 18 se muestran dos ejemplos de conexiones con cuatro pernos. En una, los miembros laterales son paralelos al miembro central de manera que en todos los miembros las fuerzas actúan paralelamente a la dirección de las fibras. En la otra, los miembros laterales son perpendiculares al miembro central y las fuerzas están aplicadas de manera que en el miembro central actúan en dirección perpendicular a las fibras. Experimentalmente se ha comprobado que la resistencia del conjunto de los cuatro pernos es sólo ligeramente inferior a la resistencia que habrían tenido los pernos considerados individualmente. Como es lógico suponer, la resistencia de uniones en que las fuerzas actúan en dirección perpendicular a las fibras es considerablemente menor a la del caso en que todas las fuerzas son paralelas a las fibras.

El comportamiento de uniones de miembros de madera a base de pernos se comenta más ampliamente en el inciso 6.2 de la ref 1, el inciso 29.5 de la ref 3, el cap 5 de la ref 4 y el cap 15 de la ref 5. A continuación se presenta un breve resumen de las recomendaciones propuestas en el Proyecto de Reglamento del Distrito Federal (ref 11).

La ref 11 da cargas laterales permisibles para uniones con un perno para diversos casos. Cuando se utiliza más de un perno se considera que la carga permisible se puede obtener sumando las cargas permisibles de los pernos considerados individualmente. Se reseñan aquí únicamente los casos más importantes.

I. <u>Uniones en que los ejes longitudinales de las piezas por unir son colineales</u>

A. Caso base. Unión de tres piezas, en que las piezas exteriores tienen por lo menos la mitad del espesor de la pieza central. Su capacidad en kg, se obtiene de

$$P_5 = 1.12\,\gamma \cdot k_1 \cdot D \cdot t \qquad (6)$$

En donde γ y D tienen el significado dado en secciones anteriores y t es el espesor del miembro central en milímetros. El valor de k_1 se da a continuación en función de t/D:

t/D	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
k_1	1.00	1.00	1.00	0.97	0.88	0.76	0.65	0.57	0.51	[illegible]

B. Unión de tres piezas, en que las piezas exteriores tienen un espesor menor de la mitad de la pieza principal. La capacidad de carga está dada por la capacidad del caso base tomando t igual a dos veces el espesor menor.

C. Unión de dos piezas. La capacidad de carga será la mitad de la del caso base, considerando t como dos veces el espesor de la pieza más delgada.

II. Uniones en que los ejes longitudinales de las piezas por unir son perpendiculares

A. Caso base. Unión de tres piezas, en la que las piezas exteriores tengan por lo menos la mitad del espesor de la pieza central. La capacidad en kg se obtiene de

$$P_6 = 0.35\,\gamma \cdot k_2 \cdot k_3 \cdot D \cdot t \qquad (7)$$

en donde γ, D y t tienen el significado y las unidades dadas en secciones anteriores. Los valores de k_2 y k_3 se dan a continuación, en función de t/D y D, respectivamente:

t/D	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
k_2	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.96	0.86	0.76

mm (Pulg)	6.4(1/4	9.5(3/8)	12.7(1/2)	15.01(5/8)
k_3	2.50	1.95	1.68	1.52

mm (Pulg)	19.1(3/4)	22.2(7/8)	15.4(1)	31.8(11/4)
k_3	1.41	1.33	1.23	1.19

mm (Pulg)	38.1(1 1/2)	50.8(2)
k_3	1.14	1.07

Para otros casos se calculan las cargas permisibles de acuerdo con el inciso anterior y considerando el caso base de este artículo.

III. Uniones en que los ejes longitudinales de las piezas por unir forman un ángulo θ entre sí

La capacidad de carga de estas uniones se calcula usando la fórmula de Hankinson, utilizando las capacidades de carga de dicha unión para $\theta = 0°$ y $\theta = 90°$, en lugar de esfuerzos permisibles. Véase la fig 16.

Los espaciamientos mínimos recomendados en la ref 11 para uniones con pernos son los siguientes, siendo D el diámetro de los pernos:

I. Cuando las fuerzas actúan en la dirección de las fibras:

4 D pernos adyacentes en la dirección de la fibra
1-1/2 entre hileras de pernos
7 D del extremo cargado
4 D del extremo no cargado

II. Cuando las fuerzas actúan en dirección normal a las fibras:

4 D entre pernos adyacentes en la dirección de la fibra
4 D de los extremos
4 D del borde cargado
1-1/2 D del borde no cargado
5 D entre hileras de pernos para t/D 6
2-1/2 D entre hileras de pernos para t/D = 2
(Se interpola entre los dos últimos valores para: $2 < t/D \leq 6$

4.6 Placas

En ocasiones se forman uniones combinando clavos, tornillos o pernos con placas de acero. Los reglamentos permiten incrementar las conexiones reforzadas con placas en un porcentaje del orden de 25. Para armaduras ligeras se han desarrollado placas patentadas con salientes integrados que actúan como clavos. Para uniones en que las fuerzas que deben transmitirse son relativamente pequeñas, como sucede en armaduras para techos de viviendas a veces se emplean placas de triplay combinadas con cola o clavos.

4.7 Conectores diversos

Como ya se dijo, además de los que han sido descritos en los incisos anteriores, existe un sinnúmero de conectores especiales, generalmente patentados. Sus capacidades suelen estar tabuladas en las especificaciones de los fabricantes. Se describirán aquí, muy brevemente, algunas de las más comunes.

Los conectores descritos se utilizan en uniones de estructuras pesadas, en combinación con pernos, con ellos se logran capacidades del orden de cinco veces las correspondientes a los pernos solos. Su objeto es repartir las fuerzas en superficies de madera relativamente grandes, con lo que se reducen las concentraciones de esfuerzos de aplastamiento que se presentan cuando los pernos se utilizan solos. El comportamiento de diversos conectores patentados semejantes a los que se mencionan a continuación es analizado ampliamente por Gurfinkel, en el inciso 6.4 de la ref 1, Hansen, en el cap 5 de la ref 4, y Hoyle, en el capítulo 13 de la ref 19. La ref 7 contiene algunas recomendaciones sobre su uso.

Conectores de anillo partido

En la fig 19 se muestra un conector de anillo partido y la forma en que transmite fuerza cortante. En la misma figura se muestran dos uniones como las utilizadas para hacer ensayes de este tipo de conectores. El anillo de acero se coloca en unas ranuras circulares formadas en las superficies de las piezas por unir. Las piezas se mantienen unidas por medio de un perno. Las fuerzas en los miembros se transmiten a través de la conexión por medio de los esfuerzos de aplastamiento distribuídos en la superficie relativamente grande del anillo. El anillo se parte para facilitar la distribución de la carga en el interior y el exterior del anillo y para tener en cuenta los cambios volumétricos de la madera.

Conectores de placa para esfuerzo cortante

El principio en que se basa este tipo de conector se muestra en la fig 20. Está constituído por dos pernos circulares metálicos fijados en ranuras practicadas en la pieza por unir. La fuerza es transferida de miembro a miembro a través del perno, pero la transferencia de la carga del miembro al perno se efectúa a través de la superficie relativamente grande en torno al anillo del conector. Estos conectores son especialmente útiles cuando se desea unir un miembro de madera con uno de acero.

Otros conectores

En la fig 21 se muestran algunos otros tipos de conectores mecánicos.

4.8 Pegamentos

Los pegamentos se utilizan no solamente para formar elementos de madera laminada o triplay, así como combinaciones diversas de triplay con madera ordinaria, sino también en conexiones entre miembros estructurales.

Existe una gran diversidad de pegamentos y colas, unos de origen natural como la caseína, fabricada de leche cuajada mezclada con cal o sal de sodio, y otros, artificiales como las resinas sintéticas.

Los tres tipos más comunes son los siguientes:

Resinas fenólicas. Son resinas sintéticas. Son difíciles de aplicar, pero constituyen el pegamento más satisfactorio desde el punto de vista de resistencia y durabilidad. Resisten la humedad, de manera que pueden usarse en estructuras que se encuentran a la intemperie.

Caseína. Es más fácil de aplicar que las resinas fenólicas sintéticas, pero más sensible a la humedad. Su uso debe limitarse a estructuras protegidas de la intemperie.

Urea. Es también una resina sintética. Se aplica con facilidad, pero su comportamiento es dudoso. Se tiende a prescindir del uso de este pegamento.

Al escoger un pegamento debe investigarse sus características de durabilidad, el procedimiento de aplicación y su capacidad para transmitir esfuerzos cortantes paralelos a las superficies unidas o esfuerzos de tensión perpendiculares a ellas. Las especificaciones de los fabricantes suelen proporcionar datos útiles.

Para mayor información sobre pegamentos y adhesivos consúltese las refs 13, 14, 15 y el inciso 190 de la ref 4.

5. MIEMBROS EN TENSION

En otra parte del curso se vió que la resistencia de la madera a tensiones en dirección paralela a las fibras es alta. Sin embargo, la resistencia a tensiones perpendiculares a las fibras es considerablemente menor: del orden de 1/40 de la resistencia a tensiones paralelas a las fibras. Por ello los miembros en tensión, como los que se presentan en las armaduras, se detallan de manera que los esfuerzos longitudinales sean paralelos a la dirección de las fibras. La condición de tensión transversal se acepta únicamente en conexiones de piezas normales entre sí, donde puede presentarse en forma local.

La tensión de trabajo que puede soportar un miembro de madera se calcula por medio de la ecuación

$$T = A_n \cdot f_t \qquad (8)$$

donde T es la tensión que puede soportar el miembro en condiciones de servicio, A_n es el área neta o efectiva de la sección del miembro y f_t es el esfuerzo permisible de tensión paralela a las fibras.

El área neta se define como la sección total menos las reducciones debidas a ranuras o agujeros para conectores. La capacidad del miembro estará regida por la capacidad de la sección que tenga el área neta mínima.

Debe tenerse en cuenta que es frecuente que las dimensiones de un miembro en tensión no estén determinadas por la resistencia a tensión de la madera, sino por los esfuerzos cortantes que se presentan en los detalles de conexión. En la fig 22 se presenta una situación típica.

Una manera de evitar las reducciones de capacidad que caracterizan a la mayoría de los detalles de conexión de miembros en tensión, consiste en realizar la unión por medio de adhesivos y placas de triplay. Este procedimiento se ha utilizado en las conexiones de miembros de armaduras ligeras.

6. MIEMBROS EN COMPRESION

6.1 Consideraciones generales

Los miembros estructurales de madera sometidos esencialmente a compresión se presentan bajo la forma de columnas, miembros de armaduras y puntales. Se construyen de manera que las fibras queden paralelas a los esfuerzos de compresión ya que, como se ha visto, la resistencia a este tipo de esfuerzos en sentido perpendicular a las fibras es baja.

Los miembros de madera sujetos a compresión pueden clasificarse en tres tipos:

a) Enterizos (o macizos)
b) De sección compuesta
c) De elementos espaciados

Las columnas están formadas por una sola pieza a veces un tronco de árbol sin labrar (fig 23-a).

Las columnas de sección compuesta están formadas por varias piezas ligadas entre sí (fig 23-b). La unión puede hacerse por medio de clavos, pijas o pernos dispuestos según recomendaciones empíricas. Un caso particular de este tipo de miembro son las columnas de madera laminada, constituidas por piezas unidas por medio de adhesivos.

Las columnas de elementos espaciados están formados por dos o más piezas, con los ejes longitudinales paralelos, y ligadas por empaques y pernos o conectores (fig 23-c). Las características de los empaques de unión se establecen en los diversos reglamentos. Véase, por ejemplo, la ref 7.

De hecho es raro el miembro estructural sujeto a carga axial de compresión exclusivamente, ya que es difícil evitar alguna excentricidad por curvatura del eje debida a errores de fabricación, momentos introducidos en los detalles de conexión, o efectos de acciones no previstas en el análisis. Por ello, en la práctica actual (refs 1 y 11) se tiende a considerar una excentricidad mínima aún cuando el análisis de la estructura

no indique la presencia de momentos. Así, todas las columnas y miembros semejantes se calculan como miembros sometidos a flexocompresión. En esta sección se considera la condición de carga axial ideal. Si se desea considerar una excentricidad mínima se procedería como en la sección dedicada a miembros en flexocompresión. Se estudia el caso de columnas macizas con algún detalle y se hacen consideraciones generales sobre el dimensionamiento de los otros dos tipos.

6.2 Dimensionamiento de miembros enterizos sometidos a compresión axial

Los miembros enterizos de madera sometidos a compresión pueden dividirse en dos clases: columnas cortas, en las que los efectos de esbeltez pueden despreciarse, y columnas largas que fallan por inestabilidad antes de que la madera alcance su capacidad en compresión.

El esfuerzo crítico de pandeo para columnas largas está dado por la ecuación de Euler:

$$f'_{cr} = \frac{\pi^2 E}{(kl/r^2)} \qquad (9)$$

donde k es el factor de longitud efectiva, l es la longitud libre de la columna, r es el radio de giro mínimo de la sección y los demás términos son conocidos. El producto kl recibe el nombre de longitud efectiva y, físicamente, es la distancia entre puntos de inflexión. En la fig 24 se dan los valores teóricos de k para algunas situaciones típicas junto con valores recomendables para el dimensionamiento. Los valores sugeridos para dimensionamiento son, en general, algo mayores que los teóricos para tener en cuenta que en situaciones reales es difícil lograr empotramientos perfectos. En otros casos puede estimarse la longitud efectiva en forma aproximada, dibujando la forma deformada de la elástica y midiendo la distancia entre puntos de inflexión. Son útiles los nomogramas para determinación de longitudes efectivas que presentan los manuales y reglamentos del American Institute of Steel Construction y del American Concrete Institute. Estos nomogramas se basan en las gráficas preparadas originalmente por Jackson y Moreland (ref 21).

Para miembros rectangulares de madera se puede sustituir l/r por l/b, donde b es la dimensión de la sección perpendicular al eje de pandeo, es decir, la dimensión mínima. Es fácil comprobar que el radio de giro de una sección rectangular está dado por $r = b/\sqrt{12}$. Sustituyendo r por $b/\sqrt{12}$ en la ec (9) se obtiene

$$f'_{cr} = \frac{\pi^2 E}{[kl/(b/\sqrt{12})]^2} = \frac{0.82E}{(kl/b)^2} \qquad (10)$$

Si se utiliza un factor de 2.75 contra falla por pandeo la ec (10) se convierte en

$$c = \frac{0.82E}{2.75(kl/b)^2} = \frac{0.3E}{(kl/b)^2} \qquad (11)$$

donde c es el esfuerzo que debe utilizarse para el dimensionamiento de la columna. La ecuación (11) rige mientras c sea inferior al esfuerzo permisible de la madera para miembros de esbeltez despreciable, en compresión paralela a las fibras, determinado como se indicó en la sección 3. Los valores de l/b para los cuales deja de ser válida la ecuación (11) varían entre 16 y 20 según el módulo de elasticidad de la madera y el esfuerzo permisible en compresión paralela a la fibra. En la fig 25 se muestra una curva de dimensionamiento típico en la que se aprecia la forma de definir la relación de esbeltez a partir de la cual la columna la falla por aplastamiento del material y debe dimensionarse como corta. Generalmente la relación de esbeltez máxima admisible se limita a 50. Si el miembro no es de sección rectangular se sustituye en las expresiones anteriores $\sqrt{12}$ veces el mínimo radio de giro de la sección transversal en vez de b.

El procedimiento expuesto no es de gran exactitud pero es de fácil aplicación, por lo que es aconsejable para cálculos preliminares aproximados o para el dimensionamiento de miembros de poca importancia. Cuando se requiere mayor precisión debe recurrirse a métodos como los propuestos en la ref 11 o en el cap 8 de la ref 1.

El Reglamento de Construcciones del Distrito Federal (ref 8) considera tres casos: columnas cortas, columnas intermedias y columnas largas. Las columnas cortas se dimensionan con los esfuerzos permisibles para madera en compresión paralela a las fibras especificadas para miembros cortos. El dimensionamiento de las intermedias se basa en una forma simplificada de la expresión por el laboratorio de Productos Forestales de los Estados Unidos (inciso 130 de la ref 4). Para las columnas esbeltas se utiliza una simplificación de la fórmula de Euler.

6.3 Dimensionamiento de miembros compuestos sometidos a carga axial

Los miembros compuestos tienen menos resistencia que los miembros enterizos de iguales dimensiones. La ref 8 recomienda que este tipo de columnas se dimensione como si se tratara de columnas macizas, pero aplicando un coeficiente de reducción. Para que sea aplicable este método de dimensionamiento la unión entre los elementos que forman el miembro debe cumplir con determinados requisitos. Para mayor información véanse la ref 7, el inciso 13.11 de la ref 5 y el inciso 132 de la ref 4.

Debe observarse que los miembros de madera laminada, que en cierta forma pueden considerarse como miembros compuestos, se dimensionan también como si se tratara de madera maciza, pero con esfuerzos permisibles más altos.

6.4 Dimensionamiento de miembros espaciados

Los miembros formados por piezas unidas con espaciadores de algún tipo se utilizan con frecuencia en las barras de compresión de las armaduras. Los requisitos que deben cumplir los separadores se especifican en normas como las de las refs 7 y 8 que también contienen recomendaciones para el dimensionamiento de este tipo de elementos. Véase también el inciso 133 de la ref 4 y los incisos 13-8, 13-9 y 13-10 de la ref 5.

7. MIEMBROS SOMETIDOS A FLEXION (VIGAS)

7.1 Vigas de madera maciza

Debido a la estructura y propiedades particulares de la madera, las vigas de este material se labran de manera que las fibras queden orientadas en sentido normal a la dirección de las fuerzas transversales que deberán soportar; es decir, las fibras deben quedar paralelas al eje longitudinal de la viga. En estas condiciones la madera resiste acciones flexionantes con gran eficiencia, ya que la relación entre su rigidez en flexión y su peso es alta.

El dimensionamiento de vigas de madera maciza comprende el análisis de los efectos del momento flexionante, la fuerza cortante y el aplastamiento en los apoyes y bajo cargas concentradas así como la predicción de la deflexión probable. Estos aspectos fundamentales se tratan brevemente a continuación. (El comportamiento y el dimensionamiento de miembros en flexión se trata más ampliamente en el inciso 29.2 de la ref 3, el cap 7 de la ref 1, el cap 9 de la ref 19, el inciso 175 de la ref 4 y los capítulos 5, 6, 7, 8, 9, 10, 12, 21, 23 y 24 de la ref 5.)

Flexión

En flexión, el comportamiento de la madera es prácticamente elástico hasta niveles de carga relativamente altos.

Una viga de madera sometida a una carga transversal creciente exhibe distribuciones de esfuerzos semejantes a los mostrados en la fig 26, para una viga simétrica. Se aprecia que para una carga baja el eje neutro queda al centro y la distribución de esfuerzos es lineal. A medida que la carga se va aproximando a la que produce la falla, la distribución de esfuerzos deja de ser lineal y la profundidad del eje neutro aumenta. Este comportamiento se debe a las diferencias en las gráficas esfuerzo-deformación de la madera sujeta a tensión o a compresión. Por regla general las fallas por flexión se inician con el aplastamiento de las fibras de compresión, a la que sigue la rotura de las fibras en tensión.

A pesar de que el comportamiento de las vigas de madera no es

rigurosamente elástico se suele considerar aplicable la teoría convencional de flexión según la cual los esfuerzos pueden calcularse por medio de la fórmula de la escuadría:

$$f = \frac{Mc}{I} \qquad (12)$$

que se considera aplicable para relaciones de peralte a ancho menores de cinco. Los esfuerzos calculados con esta expresión deben ser inferiores a los permisibles para flexión en condiciones normales (sección 3) corregidos por los siguientes factores, que tienen en cuenta ciertas peculiaridades del comportamiento de vigas de madera.

Factor de corrección para efecto del peralte. Los esfuerzos de flexión que alcanzan vigas muy aperaltadas ensayadas a la falla son menores que los que se presentan en vigas de menor peralte. Esto suele atribuirse a que en las vigas aperaltadas es menor la restricción proporcionada a las fibras extremas, expuestas a esfuerzos críticos de compresión, por las fibras vecinas, que soportan esfuerzos menores. Para tener este efecto en cuenta, el laboratorio de Productos Experimentales de los Estados Unidos (sección 29.2 de la ref 3) ha propuesto la siguiente fórmula empírica para vigas rectangulares

$$C_d = 0.81 \frac{d^2 + 922}{d^2 + 568} \qquad (13)$$

donde h es el peralte en cms y C_d es un factor menor que la unidad utilizado para disminuir el esfuerzo permisible de flexión. También puede utilizarse la fórmula propuesta por Bohannan (sección 29.2 de la ref 3).

$$C_d = \left(\frac{12}{d}\right)^{1/9} \qquad (14)$$

en la que d está en pulgadas. Los valores del coeficiente de corrección por efecto del peralte dados por ambas fórmulas varían entre 0.8 y 1. Las dos ecuaciones son aplicables para peraltes mayores de 30 cm. El momento permisible en una viga en la que haya que considerar el efecto del peralte, estará dado, entonces, por la ecuación

$$M_{permisible} = C_d \, f_{fp} \, S \qquad (15)$$

donde f_{fp} es el esfuerzo permisible de flexión en condiciones normales

y S es el módulo de sección.

Factor de forma. El efecto del grado de apoyo proporcionado por las fibras vecinas a las fibras sometidas a esfuerzos críticos de compresión también debe considerarse en secciones que no son rectangulares como las mostradas en la fig 27. En los casos (a) y (b) el ancho de la viga en la región de las fibras extremas es pequeño; existe abundancia de fibras contiguas que proporcionan apoyo porque el ancho de la sección aumenta al ir aumentando la distancia a la fibra extrema superior. Por el contrario, la viga cajón del caso (c) tiene zonas en compresión relativamente pequeñas y las fibras extremas no cuentan con mucho apoyo de las fibras vecinas. Se intuye que las secciones de casos (a) y (b) deben ser más resistentes que una sección rectangular con el mismo módulo de sección, mientras que la resistencia de una sección como la del caso (c) debe ser menor. Para secciones circulares suele tomarse un factor de forma $C_f = 1.18$. Para secciones cuadradas con el plano de flexión paralelo a una diagonal, el factor de forma es 1.414. Gurfinkel (inciso 7.4.4 de la ref 1) propone ecuaciones para calcular el factor de forma de secciones I y de secciones de cajón. En todos los casos el factor se aplica a los esfuerzos permisibles de flexión para condiciones normales, de manera que el momento permisible está dado por

$$M_{permisible} = C_f f_{fp} S \qquad (16)$$

Cuando deben considerarse los dos factores el momento permisible resulta

$$M_{permisible} = C_d C_f f_{fp} S \qquad (17)$$

Las consideraciones anteriores son válidas cuando existen soportes laterales en la cara de compresión de las vigas. Cuando no se cuenta con estos soportes puede presentarse una tendencia al pandeo lateral que puede provocar la falla a cargas menores que las correspondientes a la falla por flexión. El pandeo lateral es una función de la relación entre la distancia entre apoyos laterales y el ancho del lado comprimido. El problema del pandeo lateral de vigas se trata en el inciso 7.10 de la ref 1 y en el inciso 126 de la ref 4. En muchos casos la restricción lateral de la cara de compresión es adecuada, de manera que puede despreciarse la inestabilidad lateral. Por ejemplo, es evidente que las vigas que soportan un sistema de piso de tabla rígidamente unido a las vigas tendrá su cara de compresión restringida al pandeo. Suele considerarse que cuando la relación de peralte a ancho es inferior a dos el pandeo no es significativo. Los reglamentos suelen dar recomendaciones empíricas sobre las condiciones que deben existir para poder despreciar los efectos de inestabilidad.

Fuerza cortante

Aunque el momento suele regir el dimensionamiento de vigas de madera, pueden presentarse situaciones en que sea crítica la fuerza cortante.

En un elemento sujeto a cargas transversales, la fuerza cortante produce esfuerzos cortantes en planos perpendiculares y paralelos al eje del elemento. La madera tiene considerable resistencia a esfuerzos cortantes normales a las fibras. Sin embargo, su resistencia a esfuerzos paralelos a las fibras es baja. Puesto que las vigas se fabrican de manera que las fibras queden orientadas en sentido paralelo a su eje longitudinal, cuando la fuerza cortante resulta crítica, provoca fallas en planos horizontales, debidas a esfuerzos cortantes horizontales (o rasantes). Los esfuerzos cortantes se revisan con la expresión clásica para materiales elásticos:

$$v = \frac{VQ}{Ib} \qquad (18)$$

Para secciones rectangulares esta expresión se convierte en

$$v = \frac{3}{2}\,\frac{V}{bd} \qquad (19)$$

donde V es la fuerza cortante y b y d son las dimensiones de la sección. Esta expresión da los esfuerzos en el plano neutro, que son los máximos.

Acciones normales a las fibras

En las vigas pueden presentarse esfuerzos de compresión normales a las fibras en los apoyos y bajo las cargas concentradas, como se muestra en la fig 28. Los valores de los esfuerzos de compresión se obtienen dividiendo la carga entre el área en que está aplicada. Estos valores deben ser inferiores a los permisibles.

Deflexión

Suele aceptarse que la deflexión de vigas de madera puede predecirse por medio de las expresiones que proporciona la Mecánica de Materia-

les para el cálculo de deflexiones debidas a flexión. Esto implica: a) que se considera válida la hipótesis de que las secciones planas antes de la sección permanecen planas después de ella, y , b) que la deformación debida a cortante es despreciable (fig 29 - a). Esto no es rigurosamente cierto en vigas de madera debido a la escasa resistencia a esfuerzos rasantes de la madera, que hace que las secciones se curven bajo el efecto de las acciones transversales por cortante (fig 29-b). Sin embargo, los errores que resultan son pequeños, de manera que se justifica el empleo de las fórmulas usuales para la determinación de deflexión por flexión.

Los módulos de elasticidad para cálculo de deflexiones se determinan a partir de ensayes de flexión. El momento de inercia es el real de la sección.

Al estudiar las deformaciones de estructuras de madera debe tenerse en cuenta que las vigas, cuando quedan sometidas a cargas que actúan durante largo tiempo, adquieren deformaciones adicionales que pueden ser del mismo orden que las que resultan de un cálculo elástico. Esto no significa que el módulo de elasticidad cambia con el tiempo. Por el contrario, permanece constante, lo que puede comprobarse ensayando vigas que han estado cargadas durante largo tiempo: el módulo que resulta es el mismo que el obtenido antes de la aplicación de la carga .

7.2 Vigas de madera laminada-pegada

Las características y ventajas de la madera laminada-pegada han sido expuestas en otro lugar.

En cuanto a las ventajas estructurales de las vigas de madera laminada es oportuno recordar las siguientes:

i) Pueden alcanzar longitudes del orden de 30 m, mucho mayores que las que pueden tener las de madera enteriza.

ii) Se pueden dimensionar usando esfuerzos permisibles más altos que los correspondientes a madera ordinaria.

iii) Permiten gran libertad en la elección tanto de la sección transversal como de la configuración longitudinal (fig 30). Además de ofrecer

posibilidades arquitectónicas interesantes, esto hace factible distribuir el material de acuerdo con los requisitos de resistencia del miembro.

En general el dimensionamiento de las vigas de madera laminada es semejante al de vigas de madera maciza. Al igual que en éstas, deben considerarse factores por el efecto del peralte y por la forma. Además, en el caso de miembros curvos, deben revisarse los efectos que se mencionan en la sección 3.3, que se estudian más ampliamente en las secciones 7.13 y 7.14 de la ref 1, así como los problemas especiales que presentan las vigas de peralte variable (pag 4.24 de la ref 9 e inciso 7.15 de la ref 1). Para más datos sobre el dimensionamiento de este tipo de vigas véase el capítulo 23 de la ref 5, el capítulo 9 de la ref 4, el capítulo 3 de la ref 1 y el capítulo 15 de la ref 19.

7.3 Pisos y cubiertas de madera

Una aplicación importante de piezas de madera en flexión es en la construcción de sistemas de piso o cubiertas("lumber decks" en la terminología inglesa) para edificios, puentes y muelles.

Los pisos y cubiertas de madera se forman tendiendo duelas o tablones machihembrados sobre vigas o largueros con claro superiores a 1.20 m. Los espesores y anchos son variables. Para cimbras o cargas ligeras es frecuente la duela de 1/2" de espesor y 4" de ancho. Para cargas pesadas como las de los puentes o pisos de instalaciones portuarias o industriales se han llegado a usar tablones hasta de 4" de espesor con anchos hasta de 10". En la fig 30[1] se muestran las características de dos tipos de tablón machihembrado típicos.

En la colocación y el clavado de las duelas y tablones deben seguirse determinadas reglas, algunas de las más importantes de las cuales se ilustran en la fig 30[11]. Los manuales dan expresiones empíricas para la revisión de esfuerzos de flexión y flechas, que son aplicables cuando se han respetado las reglas mencionadas. Véase, por ejemplo, la tabla 85 de la ref 19.

El diseño de pisos y cubiertas de madera se trata en el capítulo 20 de la ref 5 y en el cap 12 de la ref 19.

7.4 Placas de triplay sometidas a cargas normales a su plano

Las placas de triplay se utilizan con frecuencia en sistemas de piso o techo y en cimbras. En ambos casos deben soportar cargas perpendiculares a su plano. Al detallar las estructuras correspondientes debe recordarse que la resistencia y rigidez de las placas de triplay es distinta según la dirección considerada. Para aprovechamiento óptimo las placas deben colocarse de manera que las fibras de las placas exteriores queden paralelas al claro, como se indica en la fig 31. El cálculo de esfuerzos se efectúa utilizando las propiedades "efectivas" de las secciones, como se indicó en el inciso 3.4. Es importante revisar la deflexión, que con frecuencia es el factor crítico. El dimensionamiento de elementos de triplay se trata con detalle en el capítulo 4 de la ref 1 y en el capítulo 7 de la ref 19.

7.5 Vigas compuestas de combinaciones diversas de piezas de madera enteriza, madera laminada y triplay

Es posible fabricar vigas de diversas combinaciones de piezas de madera enteriza, madera laminada y triplay. En la fig 32 se muestran algunas combinaciones posibles. Las piezas se unen por medio de clavos, tornillos, pernos o pegamentos. Estos medios de unión deben ser capaces de transmitir las fuerzas rasantes originadas por la flexión. La magnitud de las fuerzas se determina utilizando los procedimientos generales que proporciona la Mecánica de Materiales. Al dimensionar este tipo de miembros es importante tener en cuenta los factores de forma que recomiendan los reglamentos.

En las secciones compuestas es posible buscar combinaciones que permiten aprovechar el material en forma óptima concentrándolo donde los esfuerzos son críticos y buscando momentos de inercia mayores que los correspondientes a secciones rectangulares con la misma área.

En las vigas I y vigas cajón, con combinaciones de triplay y madera enteriza ordinaria o madera laminada, por ejemplo, los esfuerzos de compresión y tensión se resisten con los patines y los esfuerzos cortantes con el alma de triplay. El triplay resiste los esfuerzos cortantes más eficientemente que la madera ordinaria ya que en el plano su resistencia a este tipo de esfuerzos es semejante en las dos direcciones perpendiculares. Como las almas de triplay son muy esbeltas a veces es necesario rigidizarlas con atiesadores como se muestra en la fig 33. Estos atiesadores también sirven para repartir tanto las cargas concentradas que actúen sobre la viga como las reacciones en los apoyos. En circunstan-

tancias favorables el mayor costo de fabricación de vigas de esta clase es compensado por la mayor eficiencia de las secciones usuales en ellas. Su uso suele limitarse a claros inferiores a 10 metros, ya que en claros mayores pueden presentarse problemas de deflexiones excesivas. Puede encontrarse más información sobre el diseño de vigas con almas de triplay en el inciso 198 de la ref 4, la ref 18 y en el capítulo 17 de la ref 19.

En la fig 34 se muestran diversas maneras de formar secciones compuestas sobreponiendo una viga sobre otra. Pueden combinarse dos o más vigas. En el inciso 305-c de la ref 7 se dan recomendaciones sobre este tipo de miembros.

Un sistema interesante de formar miembros compuestos es el sistema patentado HB de uso común en Gran Bretaña. Consiste en la combinación de componentes laminados pegados con componentes de madera aserrada ordinaria para formar miembros de sección I. El alma se constituye con dos capas de tablas de una pulgada de espesor, colocadas perpendicularmente entre sí y diagonalmente respecto al eje del miembro, como se muestra en la fig 35. Los patines están formados por piezas de madera laminada-pegada fijadas por medio de clavos a los bordes superior e inferior del alma. En las regiones donde puede haber problemas de pandeo del alma se utilizan atiesadores a ambos de ésta, unidos a ella por medio de clavos. Para lograr economías el número de laminaciones en los patines puede reducirse de acuerdo con las variaciones de momento, como se indica en la fig 35. En la fig 36 se muestran algunas aplicaciones típicas de miembros HB.

En una variante del sistema HB se utilizan piezas de madera ordinaria en lugar de las piezas de madera laminada, como se aprecia en la fig 37. En el inciso 305 D de la ref 7 se dan recomendaciones para este tipo de vigas.

7.6 Vigas compuestas de madera y otros materiales

Se comentarán, brevemente, dos casos: secciones de madera con acero, secciones de madera con concreto.

Secciones de madera con acero

Se ha recurrido al acero para reforzar vigas de madera laminada u ordinaria, fijando soleras de acero sobre la cara comprimida (fig 38-b).

Esto aumenta la resistencia considerablemente, ya que es en las fibras de compresión donde se inicia la falla de las vigas de madera. A veces se refuerza también la cara de tensión (fig 38-e). El uso de placas o perfiles de acero fijadas a los costados de vigas de madera (figs 38-c, d y e), que fue común hace años, ahora es raro. Esta forma de combinar el acero con la madera no es eficiente porque la madera no se puede hacer trabajar al esfuerzo permisible aplicable al acero. Para consideraciones sobre este tipo de secciones, véase el inciso 21-3 de la ref 5 y la sección 4.15 de la ref 12.

Secciones compuestas de madera y concreto

Sistemas de piso de losa de concreto y madera laminada. Esta solución se puede utilizar en puentes y pisos de almacenes y muelles que deben soportar cargas pesadas. Consiste en una losa de concreto reforzado colocada sobre una placa de madera laminada formada por piezas pequeñas de madera unidas lateralmente por medio de clavos. En la fig 39' se muestra un ejemplo típico. La base de madera sirve como cimbra para la losa de concreto. Debe ser capaz de soportar su peso propio, el peso del concreto y la carga viva que pueda existir durante la construcción. Para soportar las cargas vivas de servicio se recurre a la acción compuesta de la madera y el concreto. Para lograr la acción compuesta es necesario recurrir a conectores de esfuerzo cortante, ya que la adherencia entre el concreto y la madera no es suficiente para resistir los esfuerzos rasantes que pueden presentarse. Los conectores pueden consistir en placas triangulares de acero como las mostradas en la fig 39' (b), pijas o clavos grandes. Cuando existe continuidad en los apoyos la losa de concreto se refuerza con acero negativo. El diseño de estos sistemas de piso se trata con detalle en el inciso 9.4 de la ref 1. Véase también el inciso 158 de la ref 4 y el inciso 7.6 de la ref 12.

Vigas compuestas de concreto y madera

Se utilizan en puentes. Pueden alcanzar claros relativamente grandes. Consisten en vigas, preferiblemente de madera laminada, que soportan una losa de concreto. En la fig 39" (a) se muestra una solución típica. Las vigas deben soportar, por sí solas, el peso propio, el peso del concreto y de la cimbra y las cargas vivas de construcción. Para la carga viva de los vehículos se considera que se cuenta con la acción compuesta de las vigas de madera y la losa de concreto. En algunos casos las vigas se apuntalan durante la construcción de manera que se pueda contar con la acción compuesta para soportar la carga total. Para desarrollar la acción compuesta se ha recurrido a entalladuras de diversas formas en la parte superior de la viga de madera junto con clavos o pijas para evitar la separación de los dos materiales (fig 39 - b).

El diseño de vigas compuestas de madera y concreto se describe ampliamente en el inciso 9-6 de la ref 1 y en el capítulo 7 de la ref 12.

8. MIEMBROS SOMETIDOS A COMBINACIONES DE MOMENTO Y CARGA AXIAL

Los miembros de madera sometidos a flexocompresión son muy frecuentes (columnas con cargas excéntricas o expuestas a cargas transversales). Su comportamiento se puede ilustrar por medio de diagramas de interacción adimensionales como el representado con la curva (a) de la fig 40, basado en ensayes efectuados sobre modelos de columnas de madera (inciso 29.4 de la ref 3). La forma curva-del diagrama, que acusa el comportamiento inelástico de lamadera, es semejante a la de los diagramas de interacción correspondientes a las columnas de concreto reforzado. En forma conservadora la interacción puede representarse por la recta (b) que une a $P/Po = 1$ con $M/Mo = 1$, donde Po es la capacidad para resistir carga axial, Mo es la capacidad para resistir momento y P y M son las acciones aplicadas a la columna. La ecuación de la recta es

$$\frac{P}{P_o} + \frac{M}{M_o} = 1 \qquad (20)$$

Puede establecerse una expresión análoga, en términos de esfuerzos producidos por las acciones aplicadas y de los esfuerzos permisibles. La condición que deben cumplir los esfuerzos en una columna sometida a flexocompresión quedaría entonces expresada por

$$\frac{f_c}{f_{c_p}} + \frac{f_f}{f_{f_p}} \leq 1.0 \qquad (21)$$

donde

$f_c = \frac{P}{A}$ = esfuerzo axial de compresión

f_{c_p} = esfuerzo axial de compresión permisible

$f_f = \frac{M}{S}$ = esfuerzo de flexión

f_{f_p} = esfuerzo de flexión permisible

Este método de tratar el problema de la combinación de esfuerzos consiste en suponer que una parte de la capacidad de la columna es absorbida por la carga axial y el resto por la flexión. El procedimiento no tiene en cuenta el efecto de esbeltez. Sin embargo, es útil para cálculos preliminares.

La expresión (21) es aplicable a miembros sometidos a flexotensión si en lugar de f_c y f_{cp} se sustituyen los valores de f_t y f_{tp}, que, respectivamente, son el esfuerzo de tensión producido por la carga axial de tensión y el esfuerzo de tensión permisible. En este caso el problema de los efectos de esbeltez no existe y la expresión (21) da resultados bastante precisos. (La combinación de momento y tensión se presenta en miembros tales como las cuerdas inferiores de las armaduras, que deben soportar cargas transversales además de las cargas axiales de tensión propias de este tipo de estructura.)

Se han propuesto diversos métodos para el dimensionamiento de miembros sometidos a flexocompresión, más precisos que el descrito y que intentan tener en cuenta los efectos de esbeltez. El que se describe a continuación, que es uno de los que más aceptación ha tenido recientemente, es el propuesto en la ref 20. Los fundamentos y la aplicación del método se tratan con detalle en el capítulo 8 de la ref 1.

El método sugérido en la ref 20 es aplicable a miembros rectangulares sometidos simultáneamente a carga axial de compresión excéntrica y a momento debido a cargas transversales. El método queda resumido en la siguiente expresión básica:

$$\frac{\dfrac{P}{A}}{c} + \frac{\dfrac{M}{S} + \dfrac{P}{A}\dfrac{be}{d}\beta}{f_{fp} - \gamma\dfrac{P}{A}} \leq \alpha \qquad (22)$$

En esta expresión

P = carga axial
A = área de la sección
d = dimensión del lado mayor de la columna
e = excentricidad de la carga axial
M = momento debido a las cargas transversales
S = módulo de sección del miembro

f_{f_p} = esfuerzo permisible en flexión

C_d = factor de tamaño (ver sección 7.1)

c = esfuerzo permisible en compresión paralela a las fibras, corregido por esbeltez

α = factor de duración de la carga (0.9 para cargas permanentes, 1.0 para cargas de duración normal, 1.15 para nieve, 1.33 para viento o sismo, 2 para impacto).

β, γ = coeficientes de amplificación

El valor de c , está dado por $0.3\,E/(\ell/b)^2$

donde

E = módulo de elasticidad en dirección paralela a la fibra

ℓ = longitud libre de la columna

b = dimensión del lado menor de la columna.

Este valor no debe ser superior a f_{c_p}, el esfuerzo permisible a compresión en dirección paralela a las fibras, en miembros cortos.

Los coeficientes de amplificación β y γ dependen de la relación ℓ/b, que no debe exceder de 50. Se consideran como columnas cortas aquellas en que $\ell/b \leq 0.3E/f_{c_p}$. En este caso se toma $\beta = 1$ y $\gamma = 0$. Para columnas largas $\beta = 1.25$ y $\gamma = 1$.

La ecuación se basa en las consideraciones que se resumen a continuación.

Se parte de las hipótesis siguientes:

1a. La madera se comporta como un material elástico, isótropo y homogéneo bajo las cargas de servicio.

2a. El diagrama de interacción de cargas axiales y momentos a nivel de condiciones de servicio es lineal.

3a. La columna es de sección rectangular y está articulada en ambos extremos.

4a. Ambos extremos de la columna están restringidos contra los desplazamientos laterales y la columna está deformada en curva simple.

5a. La columna está sometida a carga axial excéntrica y a carga transversal simétrica respecto al claro.

En la sección crítica el momento es igual a M, el momento debido a la carga transversal, más P_e, que es el momento producido por la carga excéntrica, multiplicado por un factor de magnificación $\beta > 1$. El valor de β que se propone para uso en la ecuación (22) cuando la columna es larga es 1.25. Evidentemente para columnas cortas, en donde la deformación transversal puede considerarse despreciable, el valor de β será 1. El esfuerzo máximo de flexión está dado por M/S + (P/A)/(6e/d). El esfuerzo directo de compresión está dado por P/A.

Suponiendo un diagrama de interacción lineal resulta

$$\frac{P/A}{c} + \frac{\frac{M}{S} + \beta \frac{P}{A} \frac{6e}{d}}{f_{fp}} \qquad (23)$$

El valor de c depende de la relación de esbeltez de la columna, l/b; si el miembro está arriostrado en la dirección del lado mínimo, se toma como relación de esbeltez, el valor l/d. El criterio en que se funda el cálculo de c se expuso en la sección 6.2.

Para tener en cuenta la influencia del tamaño en la resistencia a flexión, el esfuerzo permisible f_{fp} debe multiplicarse por el coeficiente C_d, cuya determinación se explicó en la sección 7.1. Con un criterio conservador, se considera que en el dimensionamiento de columnas largas debe tomarse la diferencia entre $C_d\ f_{fp}$ y P/A, como esfuerzo neto permisible en flexión. Cuando la columna es corta, es decir, cuando $l/b < 0.3E/f_{cp}$, está claro que no habrá efecto de esbeltez significativo, por lo que no es necesario restar el término correctivo P/A. Para que la expresión sea aplicable tanto a columnas cortas, como a columnas largas, el esfuerzo neto permisible en flexión puede hacerse igual a $C_d\ f_{fp} - \gamma\ P/A$ en donde $\gamma = 1$ para columnas largas y $\gamma = 0$ para columnas cortas. Sustituyendo este valor por f_{fp} en la expresión 23 se obtiene la siguiente expresión:

$$\frac{P/A}{c} + \frac{M/S + \beta \frac{P}{A} \frac{6e}{d}}{C_d f_{fp} - \gamma \frac{P}{A}} \leq 1 \qquad (24)$$

En otra parte del curso se vió que la resistencia de la madera disminuye con la duración de la carga. La influencia de la duración de la carga se mostró en la fig 2. Se puede tener en cuenta multiplicando los esfuerzos permisibles que figuran en la expresión 24 y que corresponden a duración normal de carga por el factor de duración de carga, α, que fue definido anteriormente. La expresión 24 se convertirá, entonces, en

$$\frac{P/A}{\alpha c} + \frac{M/S + \beta \frac{P}{A} \frac{6e}{d}}{\alpha \left(C_d f_{fp} - \gamma \frac{P}{A}\right)} \leq 1 \qquad (25)$$

Multiplicando ambos lados de la desigualdad (25) por α se obtiene la expresión general (22) que se presentó inicialmente.

Como se vió, la expresión (22) es aplicable, en rigor, al caso de miembros cuyos extremos están articulados y restringidos contra los desplazamientos laterales. De una manera aproximada para calcular el valor de c, pueden tenerse en cuenta condiciones distintas, utilizando las longitudes efectivas estimadas como se indicó en la sección 6.2. En el caso particular de columnas muy esbeltas en estructuras no restringidas contra los desplazamientos laterales es recomendable hacer un análisis más preciso que tenga en cuenta de una manera más rigurosa el efecto de las deformaciones secundarias.

Se indicó en la sección 6.1, que en la actualidad se tiende a considerar siempre una excentricidad mínima en el dimensionamiento de columnas. Los valores de la excentricidad mínima que suelen dar los reglamentos son del orden de 0.1b ó 0.1d, según sea el sentido crítico de la columna, pero siempre por lo menos igual a 2.5 cm.

El dimensionamiento de columnas, de acuerdo con la expresión 22, suele requerir un proceso de tanteos en el que se suponen y revisan secciones sucesivas hasta encontrar una que cumpla con las condiciones implícitas en la expresión citada.

Las consideraciones anteriores se refieren a columnas rectangulares enterizas. Para columnas compuestas y columnas formadas por piezas especiales deben tenerse en cuenta las modificaciones y ajustes particulares que recomiendan los reglamentos.

En el inciso 8.1 de la ref 1 se describe un método de analizar miembros sometidos a flexocompresión más riguroso que el que se acaba de presentar.

9. CONEXIONES

En la sección 4 se describieron los conectores o elementos de unión utilizados para unir miembros de madera. Algunos de estos elementos se utilizan en combinación con placas o accesorios de acero diversos para formar conexiones entre miembros de madera y entre éstos y miembros estructurales de otros materiales, como sucede cuando una estructura de madera se apoya sobre un cimiento de concreto. En las figs 41 a 47 se ilustran algunos ejemplos típicos. En la sección 6 de la ref 9, en la parte 3 de la ref 10 y en el capítulo 4 de la ref 12 se muestran diversos ejemplos. En general las soluciones son esquemáticas y el proyectista debe dimensionar los diversos elementos que componen las conexiones de acuerdo con las fuerzas que deben transmitir. Para algunas conexiones estandar, la ref 10 da capacidades de carga y la información requerida para la fabricación.

Se recomienda una holgura de unos 3 mm entre los miembros de madera y las placas de acero que no sean de carga. Los cordones de soldadura deben quedar donde no interfieran con el montaje de la conexión. Debe preverse alguna forma de proteger los detalles de acero para evitar manchas por oxidación.

R E F E R E N C I A S

1. G. Gurfinkel, "Wood Engineering", Southern Forest Products Association, New Orleans, 1973.

2. L.G. Booth and P. O. Reece, "The Structural Use of Timber", Spon Ltd, Londres, 1967.

3. R. N. White y otros, " Structural Engineering, Vol. 3, Behavior of Members and Systems", Wiley, Nueva York, 1974.

4. H. J. Hansen, "Diseño Moderno de estructuras de madera", CECSA, México, 1961.

5. H. Parker, "Diseño simplificado de estructuras de madera", Limusa-Wiley, México, 1972.

6. M. K. Hurd, "Formwork for concrete, " 3rd edition, Special Publication No. 4, American Concrete Institute, Detroit, 1973.

7. " Especificaciones para estructuras de madera", Secretaría de Obras Públicas, México, 1968.

8. " Reglamento de construcciones para el Distrito Federal", Diario Oficial, México 9 Feb. 1966.

9. American Institute of Timber Construction, "Timber Construction Manual", Ist Edition, Wiley, Nueva York, 1966.

10. Canadian Institute of Timber Construction, "Timber Construction Manual", Ottawa, 1963.

11. Instituto de Ingeniería (UNAM), "Proyecto de Reglamento de Construcciones para el Reglamento de Construcciones del Distrito Federal", versión preliminar inédita.

12. Timber Engineering Company, "Timber Design and Construction Handbook, F. W. Dodge Corporation, N. Y. 1961.

13. A. D. Freas y M. L. Selbo, "Fabrication and Design of Glued-Laminated Wood Structural Members", U. S. Forest Products Laboratory Technical Bulletin No. 1069, Feb 1954.

14. ASTM, " 1971 Annual Book of Standards", Part 16, Structural Sandwich Constructions; Wood; Adhesives.

15. H. J. Andrews, "An Introduction to Timber Engineering, Pergamon Press, Oxford, 1967.

16. L. Domínguez Martínez, "Maderas para fines estructurales" tésis profesional, Facultad de Ingeniería (UNAM), México, 1972.

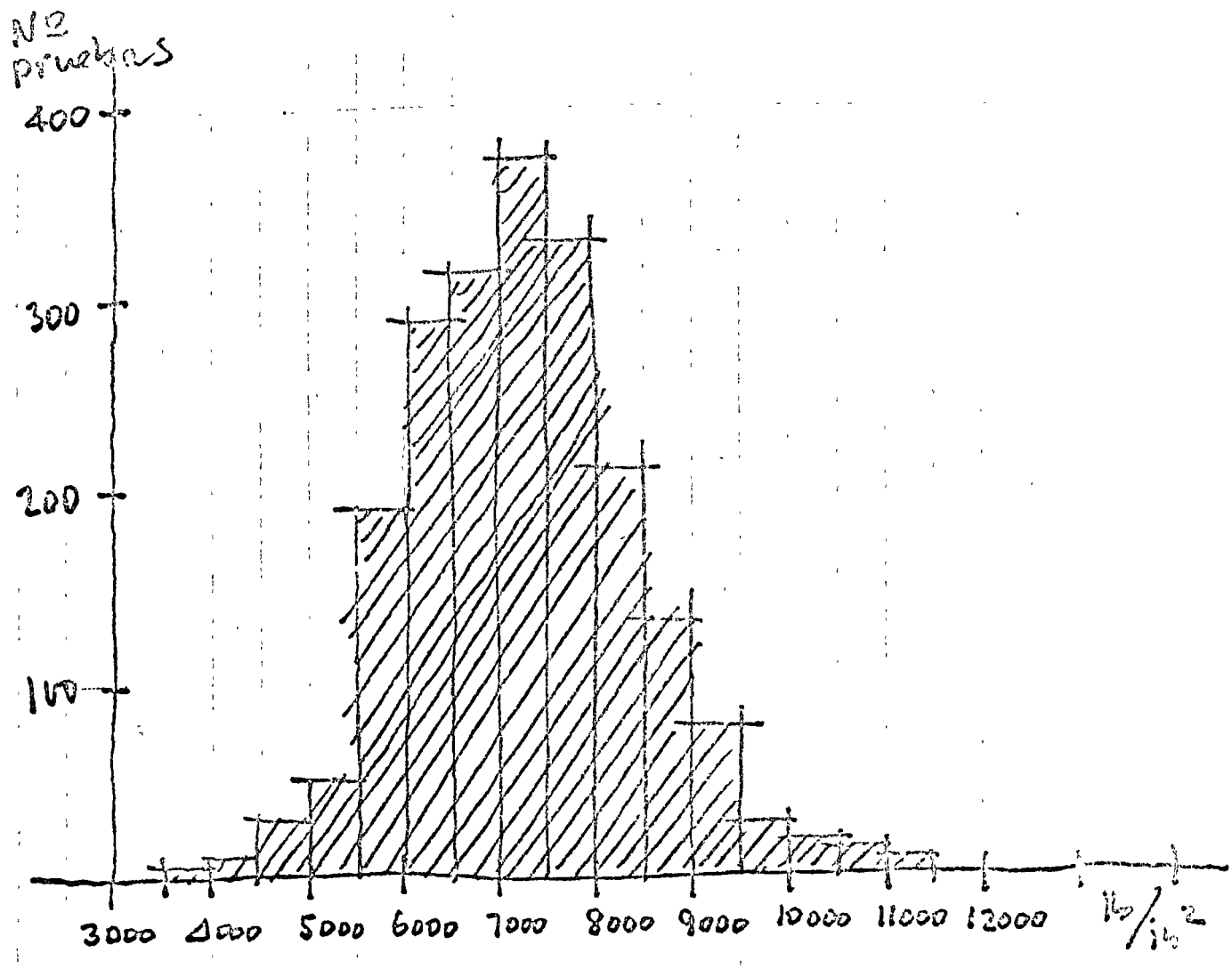
17. " Plywood Design Specification", American Plywood Association, Tacoma, Wash., 1966.

18. " Design and Fabrication of Plywood Beams ", American Plywood Association, Tacoma, Wash.

19. R. J. Hoyle Jr., " Wood Technology in the Design of Structures" 3a. edición, Mountain Press Publishing Co., Missoula, Mountana, 1973.

20. " National Design Specification for Stress-Grade lumber and Its Fastenings ", National Forest Products Association, Washington, D. C., 1971.

21. " The Column Research Council Guide to Design Criteria for Metal Compression Members, 2a. edición, Wiley, Nueva York, 1966.



DISTRIBUCION DE FRECUENCIA DE MODULOS DE ROTURA (GREEN DOUGLAS FIR)

FIG (1)

(Fig 19.18 de la ref 3)

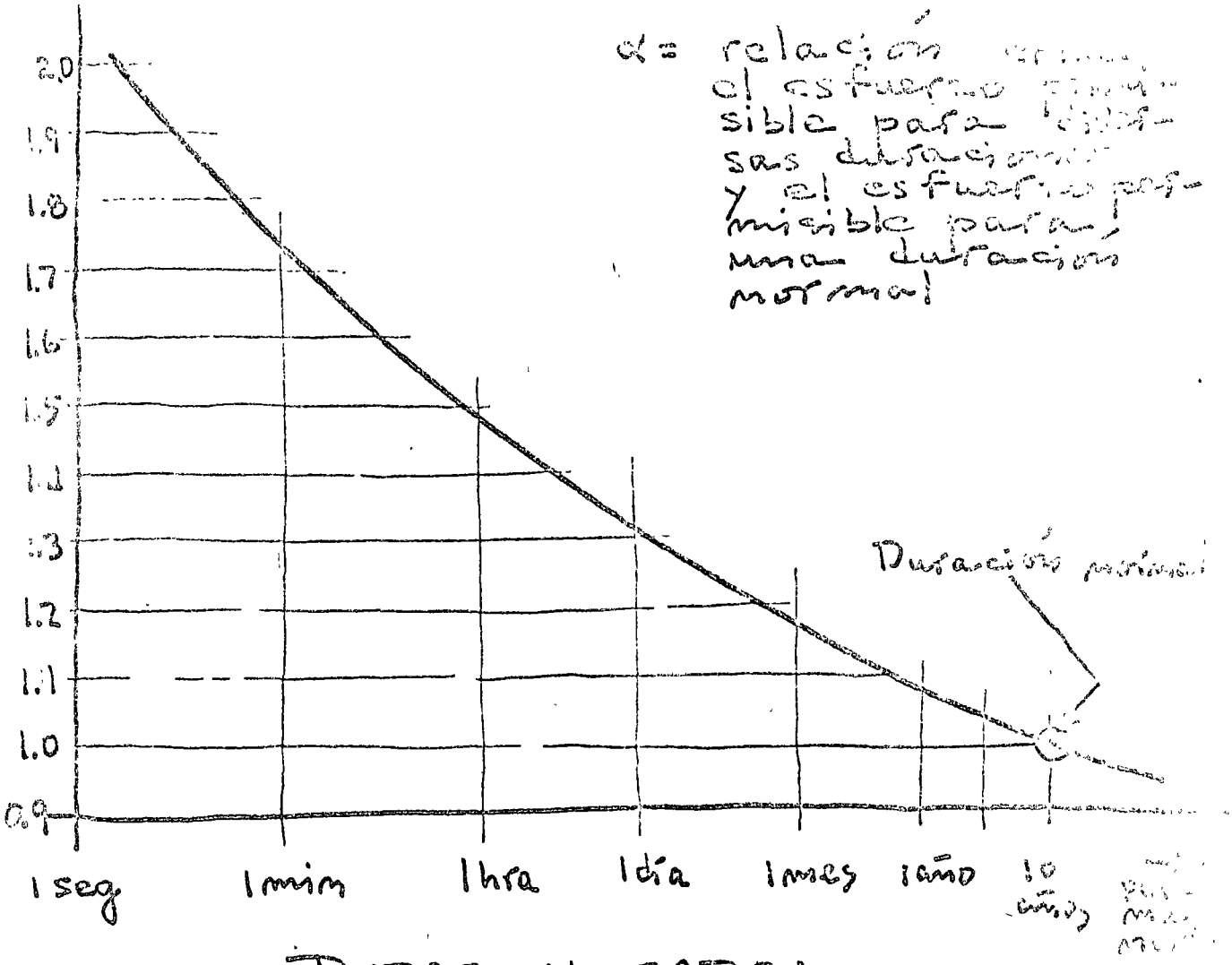
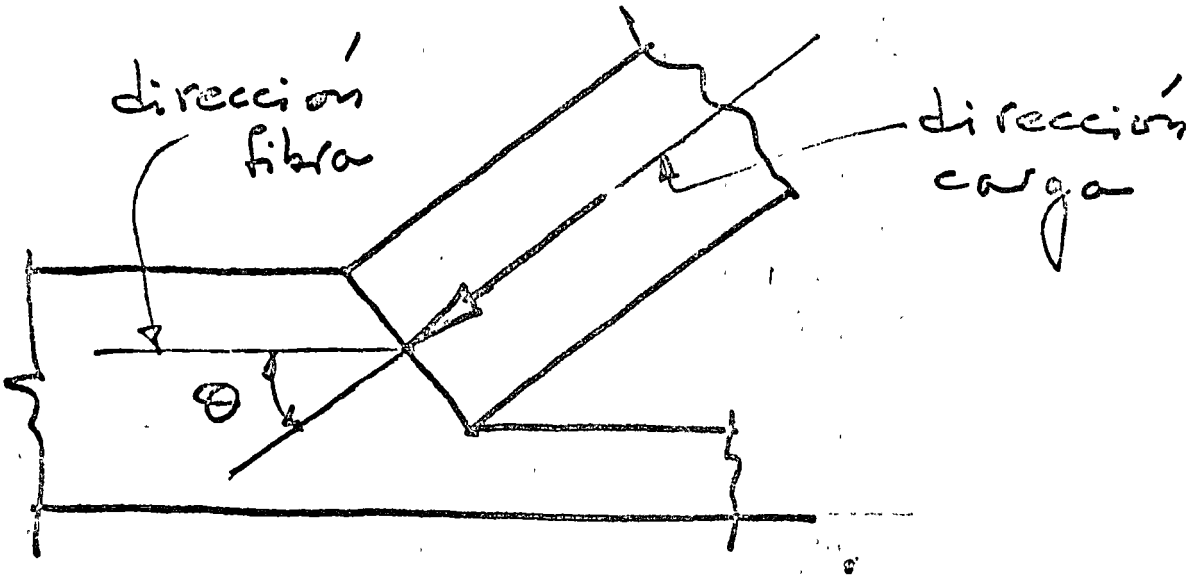


FIG (2) FACTORES PARA AJUSTES DE ESFUERZOS PERMISIBLES SEGUN DURACION CARGA MAXIMA

$$f_{c\phi p} = \frac{f_{cp}}{1 + \left(\frac{f_{cp}}{f_{cmp}} - 1\right) \operatorname{sen}^2 \theta}$$



θ = ángulo entre dirección carga y dirección fibra

Fig ③ SITUACION EN QUE ES APLICABLE LA FORMULA DE HANKINSON

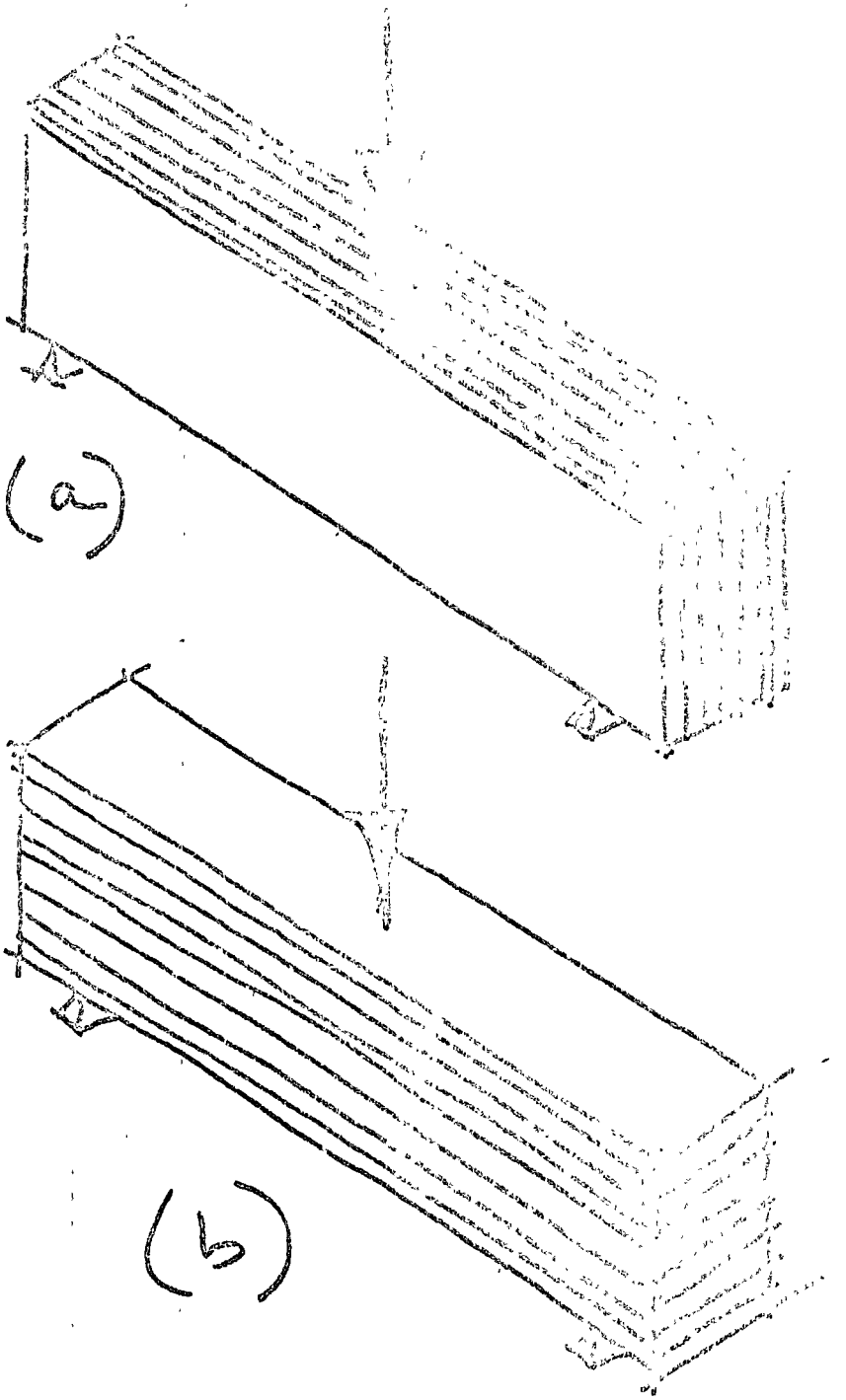


FIG (4) VIGAS DE MADEIRA LAMINADA

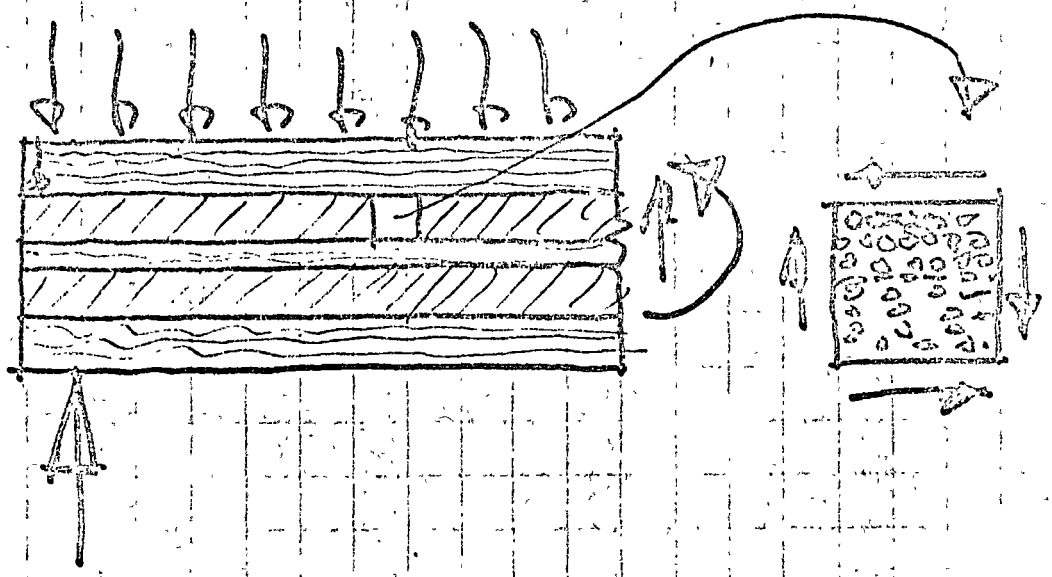


FIG (5) ESFUERZO CORTANTE "RODANTE" EN TRIPLAY

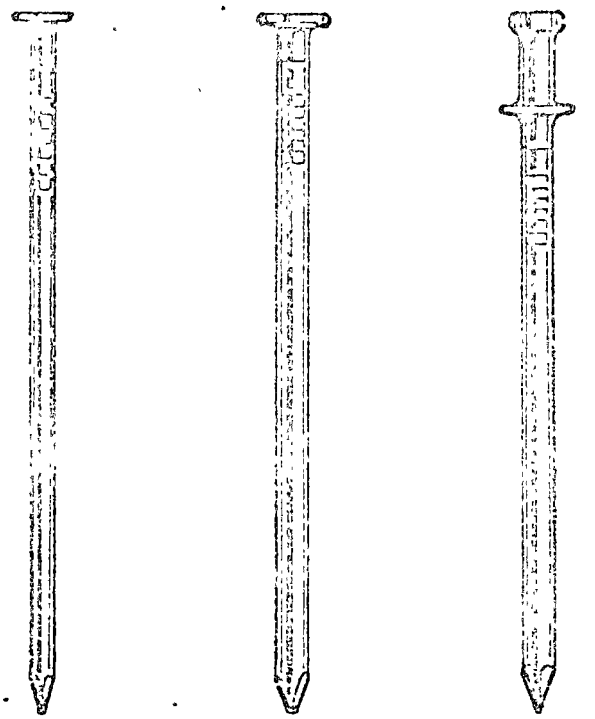


Fig 6 CLAVOS TIPICOS

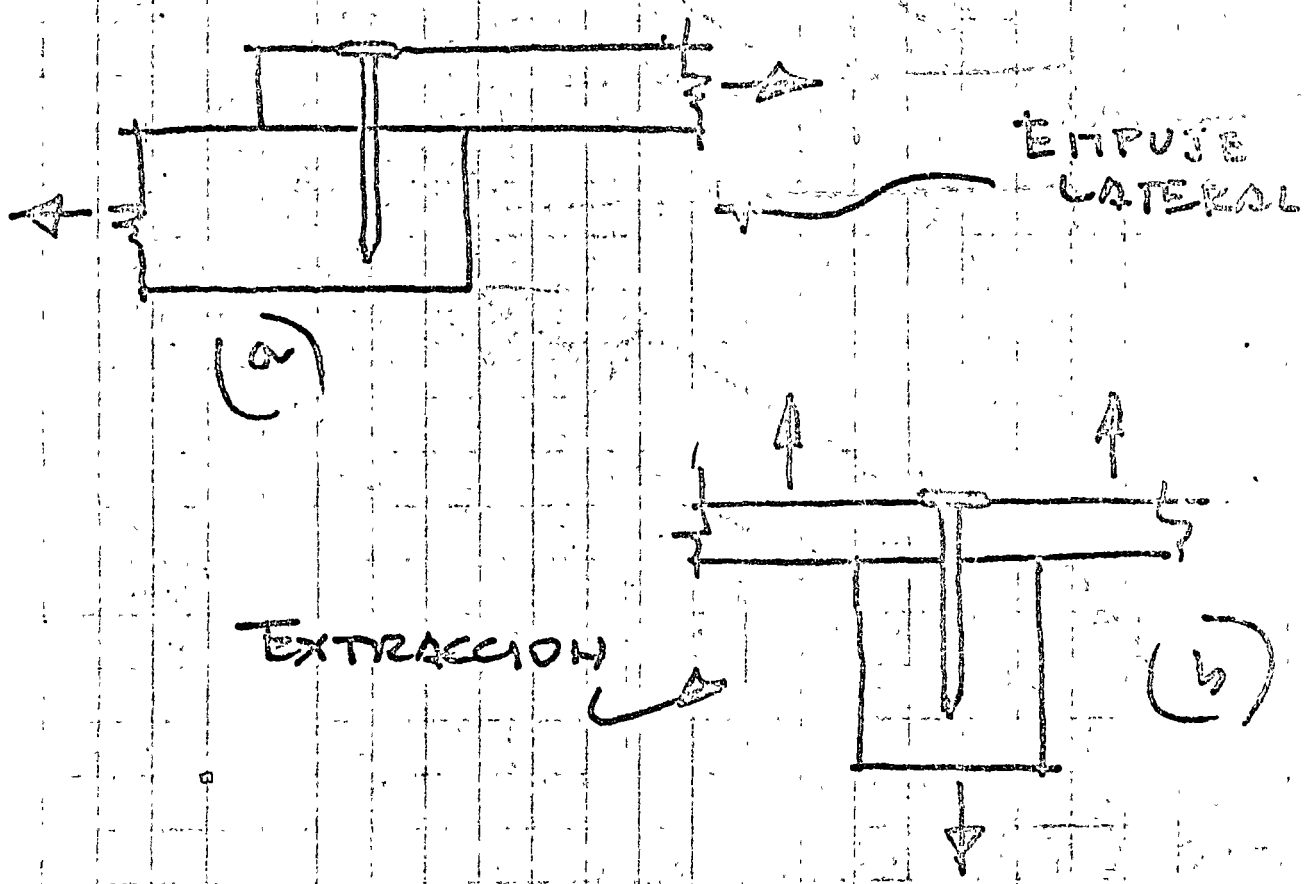


FIG (7) FORMAS EN QUE TRABAJAN LOS CLAVOS

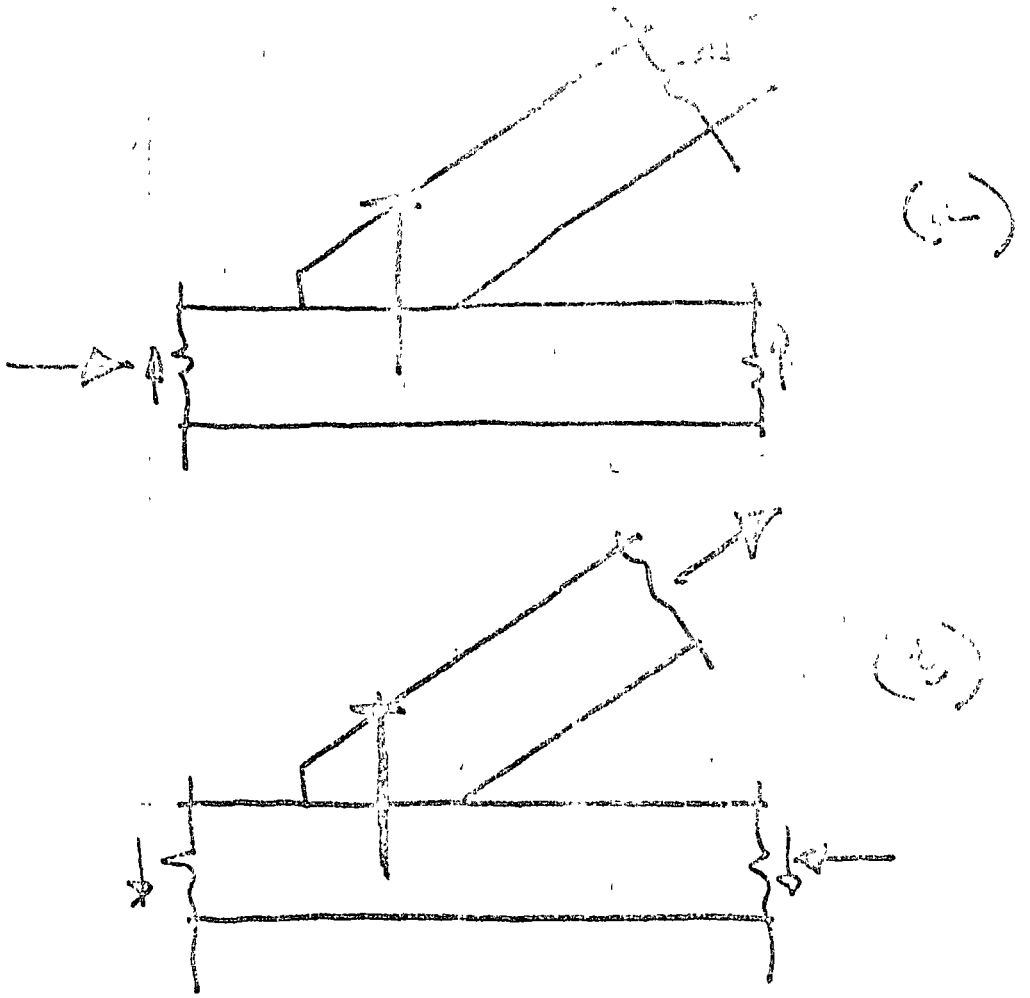


FIG (8) UNIONES EN ANGULO, CON CLAVIJA

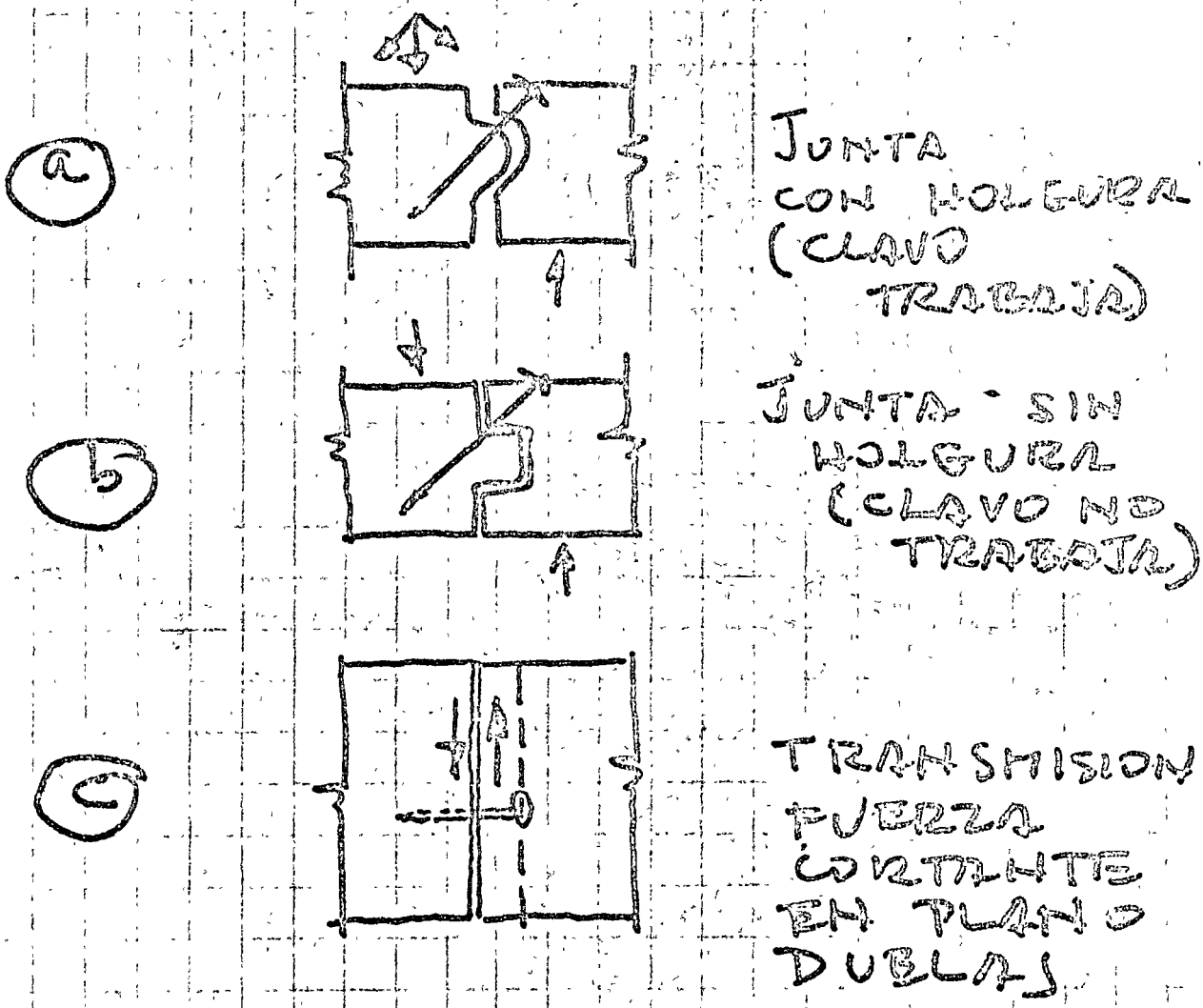


FIG 9 UNION DE DUELAS CON CLAVOS INCLINADOS

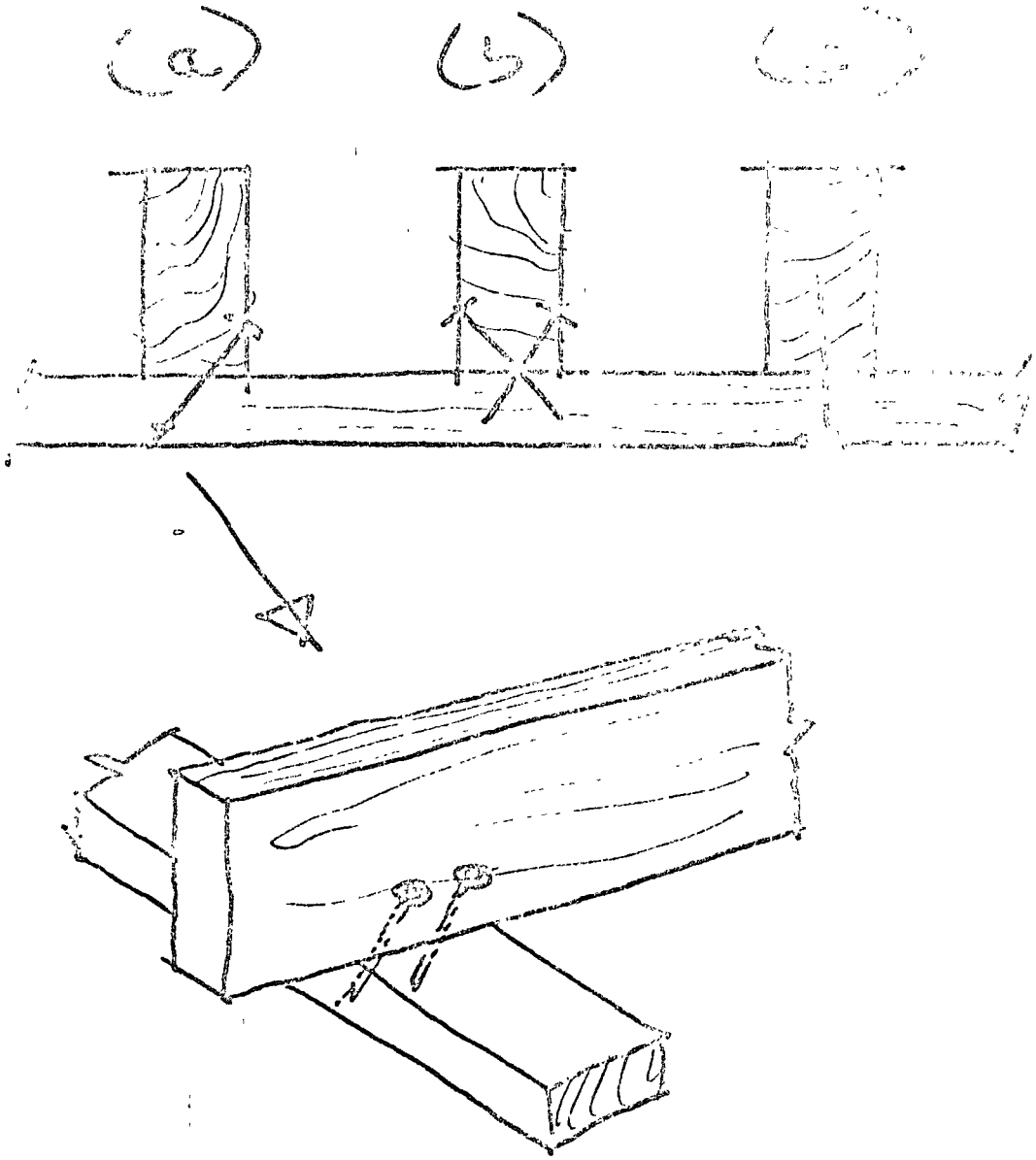


FIG (10) UNIONES CON CLAVOS INCLINADOS (SLANT-NAILED CONNECTIONS)

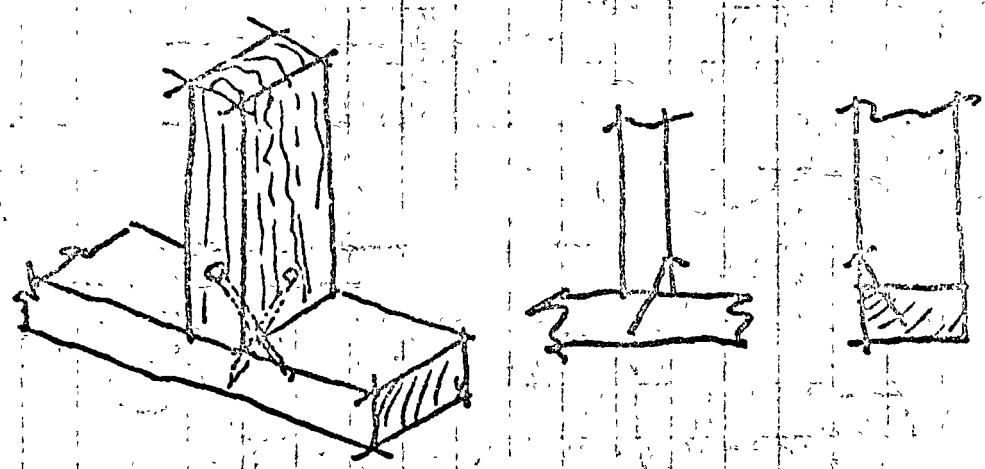
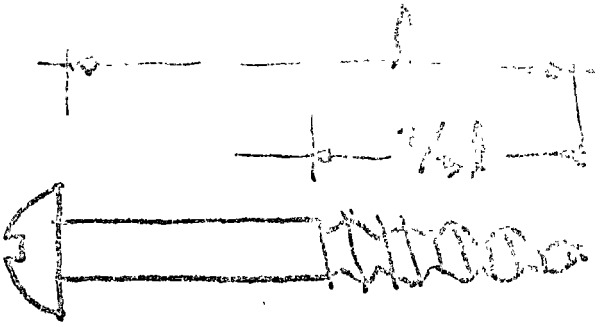
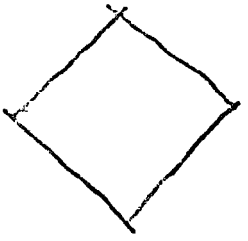


FIG (11) UNION CON CLAVOS INCLINADOS ("TOE-NAILED CONNECTION")



TORNILLO



PIJA

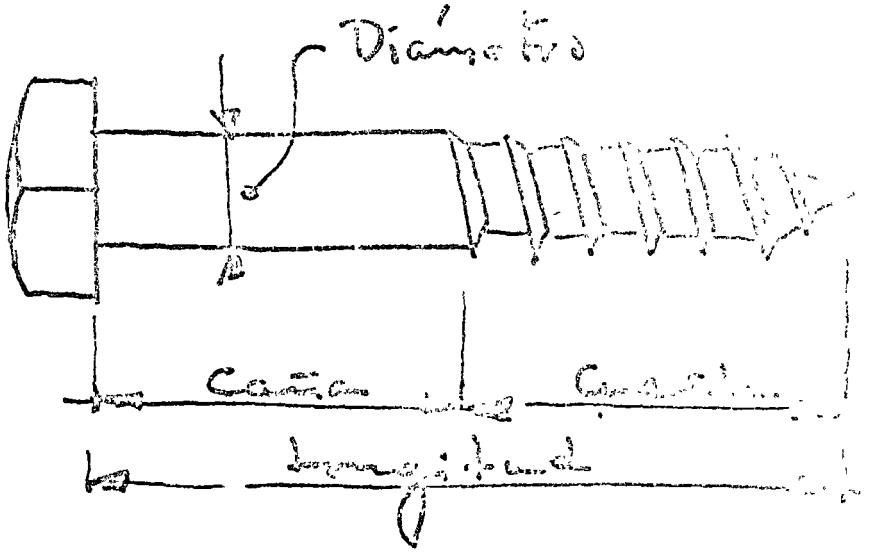


FIG (12) TORNILLO Y PIJA

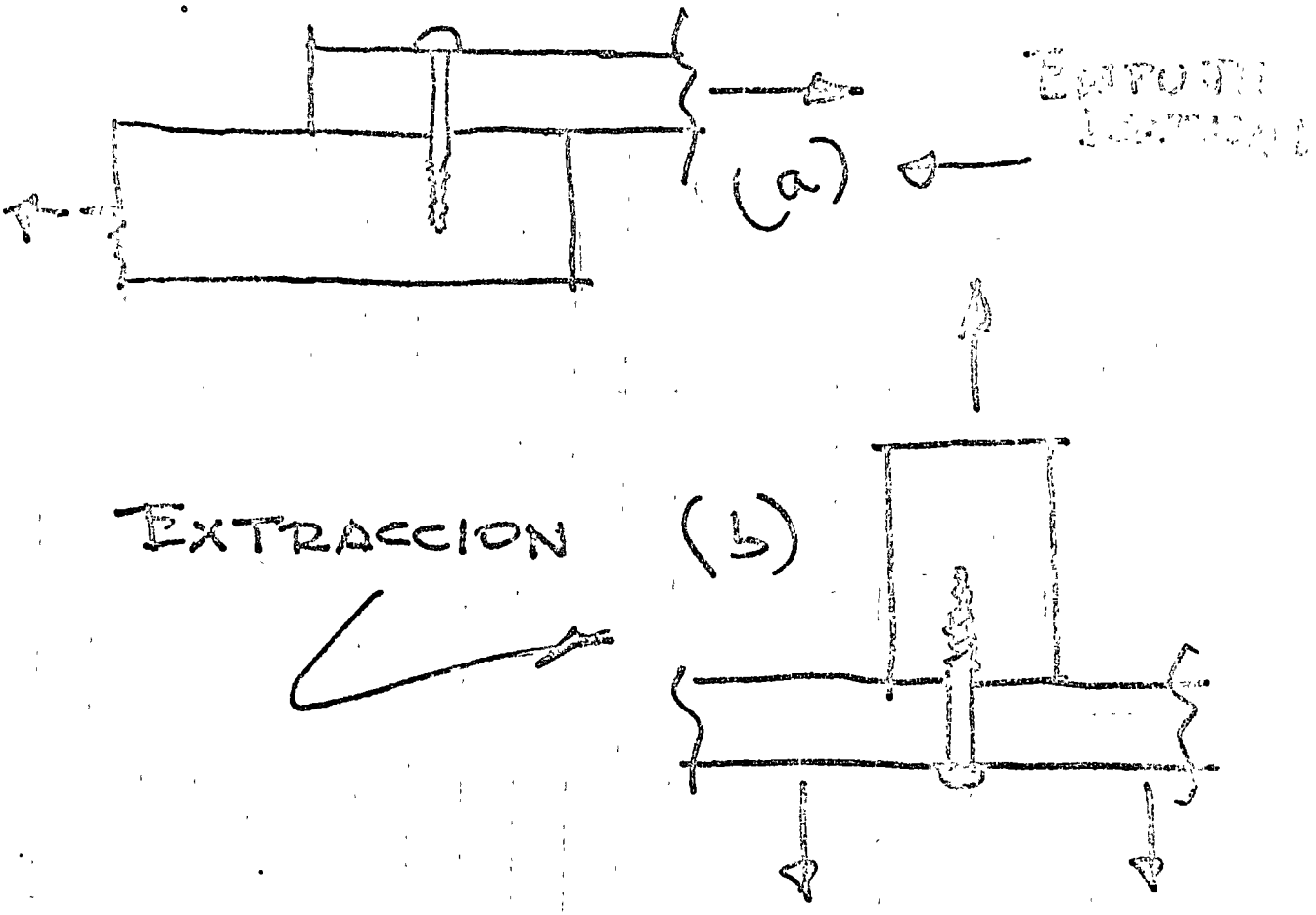


FIG (13) FORMAS EN QUE TRABAJAN LOS TORNILLOS Y LAS PIJAS

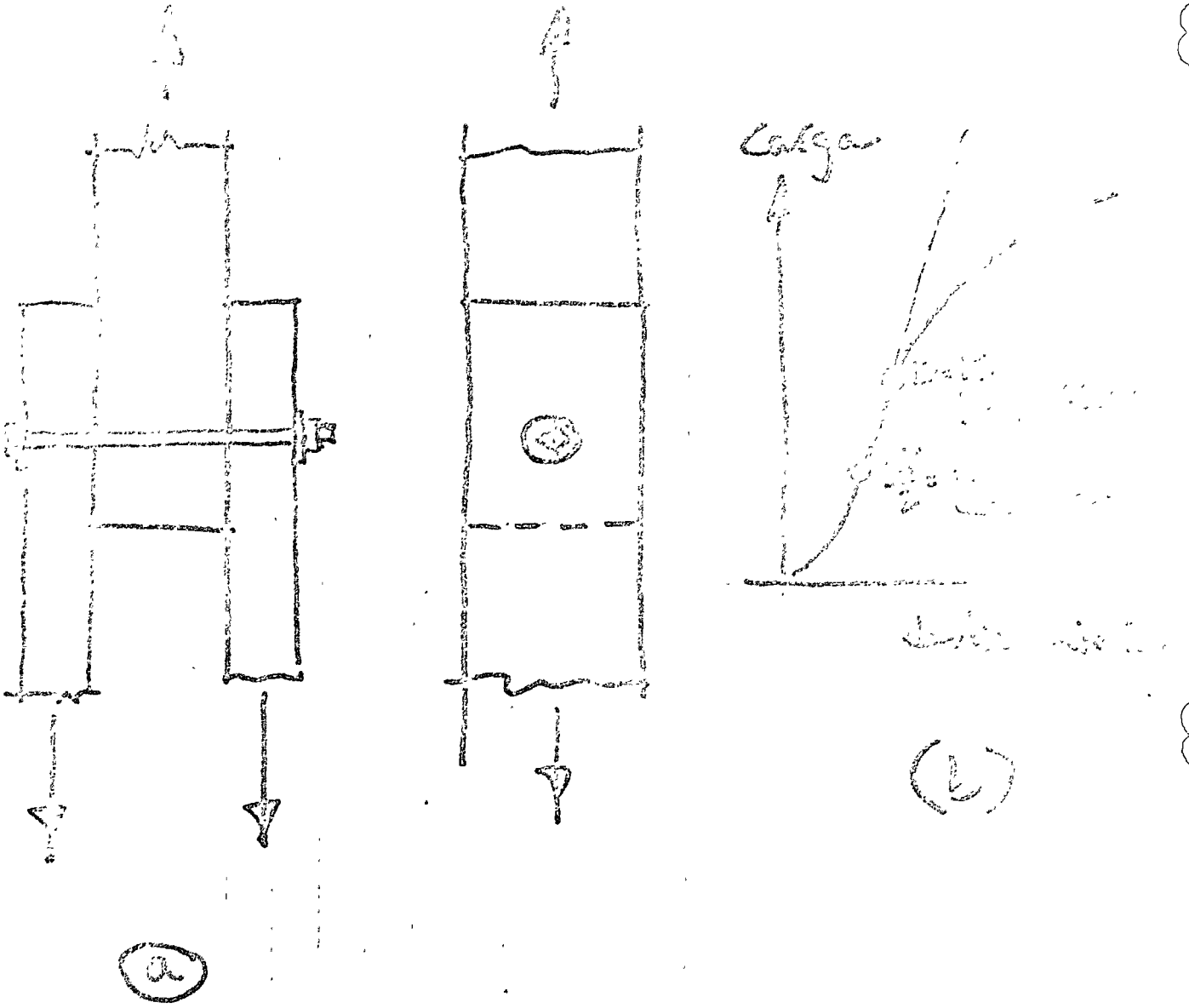


FIG (14) UNION CON PERNOS DE PIEZAS CON LOS EJES LONGITUDINALES PARALELOS

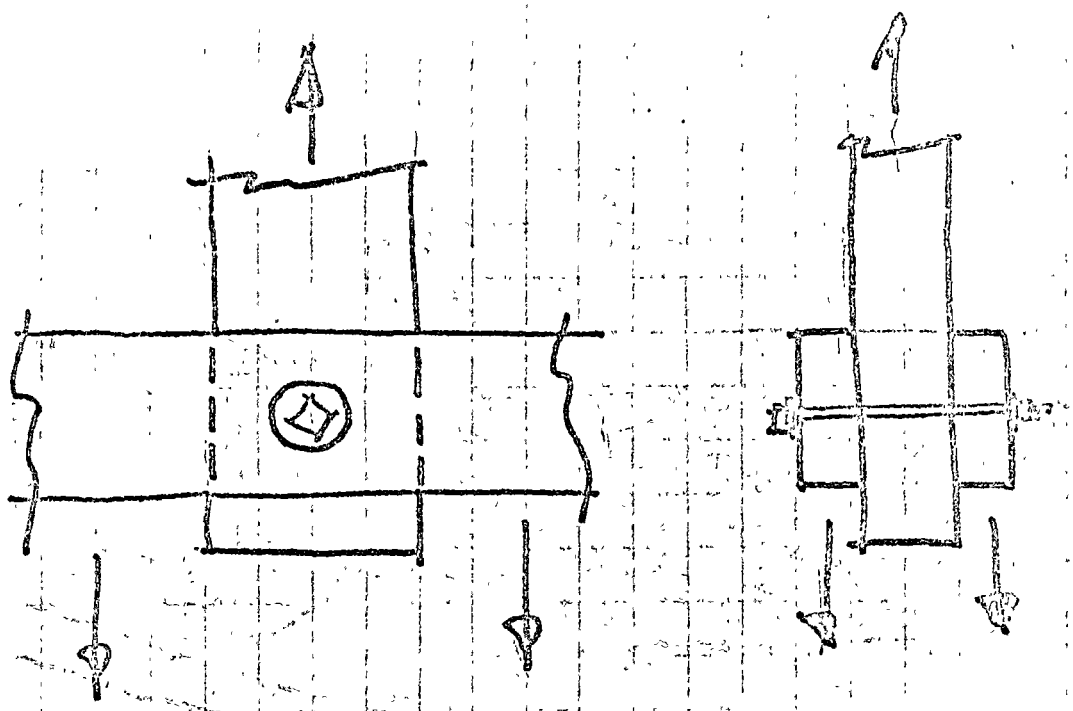


Fig. 15 UNION CON PERNO DE PIEZAS CON LOS EJES LONGITUDINALES PERPENDICULARES ENTRE SI

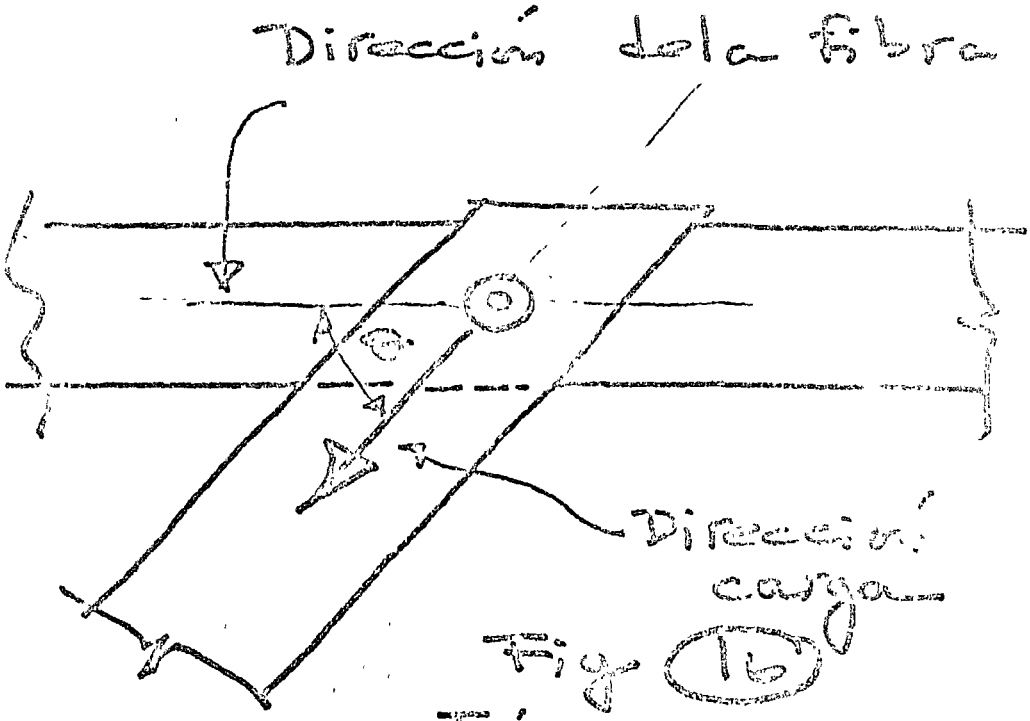


Fig (16)

FÓRMULA DE HANKINSON APLICADA A UNIONES CON PERNOS

$$P_\theta = \frac{P_P}{1 + \left[\frac{P_P}{P_M} - 1\right] \sin^2\theta}$$

P_θ = capacidad para ángulo θ

P_P = capacidad para piezas con ejes coincidentes

P_M = capacidad para piezas con ejes normales

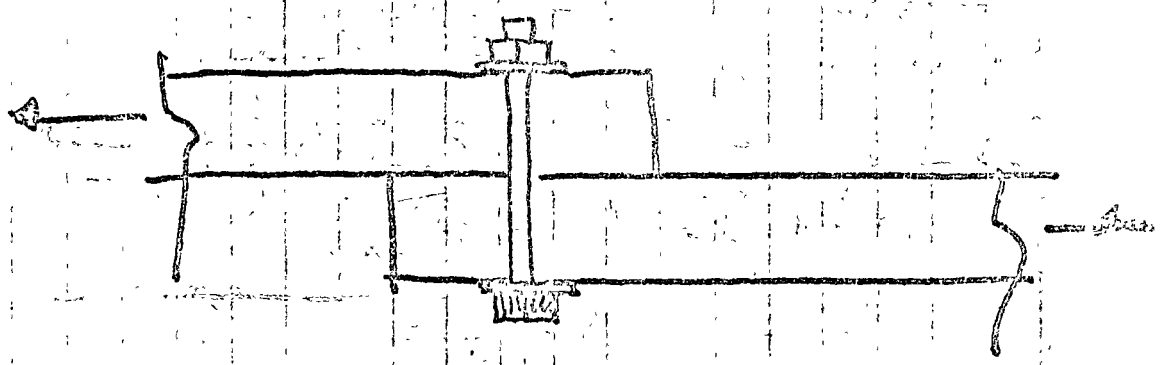


Fig. (17) DOS MIEMBROS UNIDOS CON UN PERNO

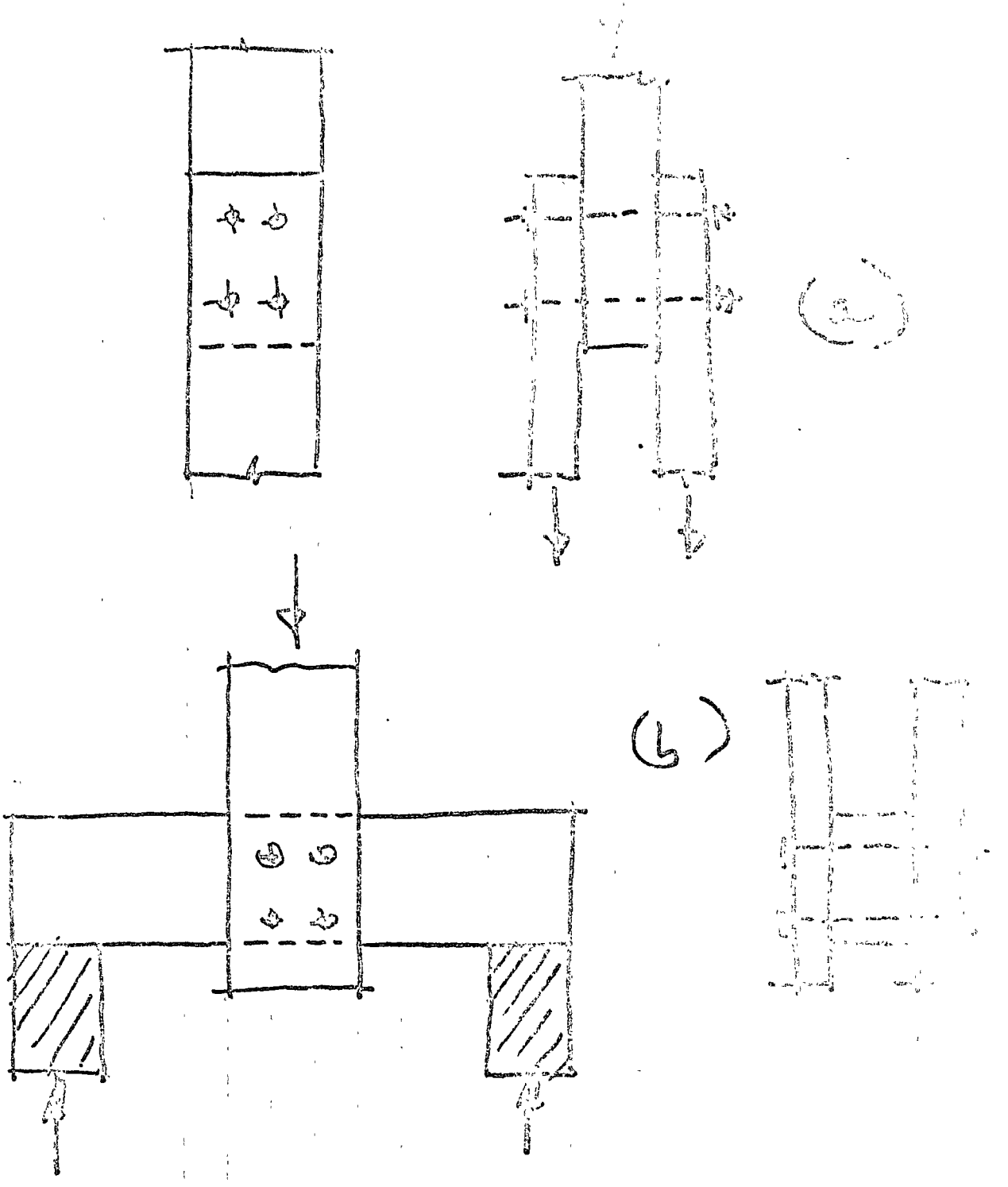
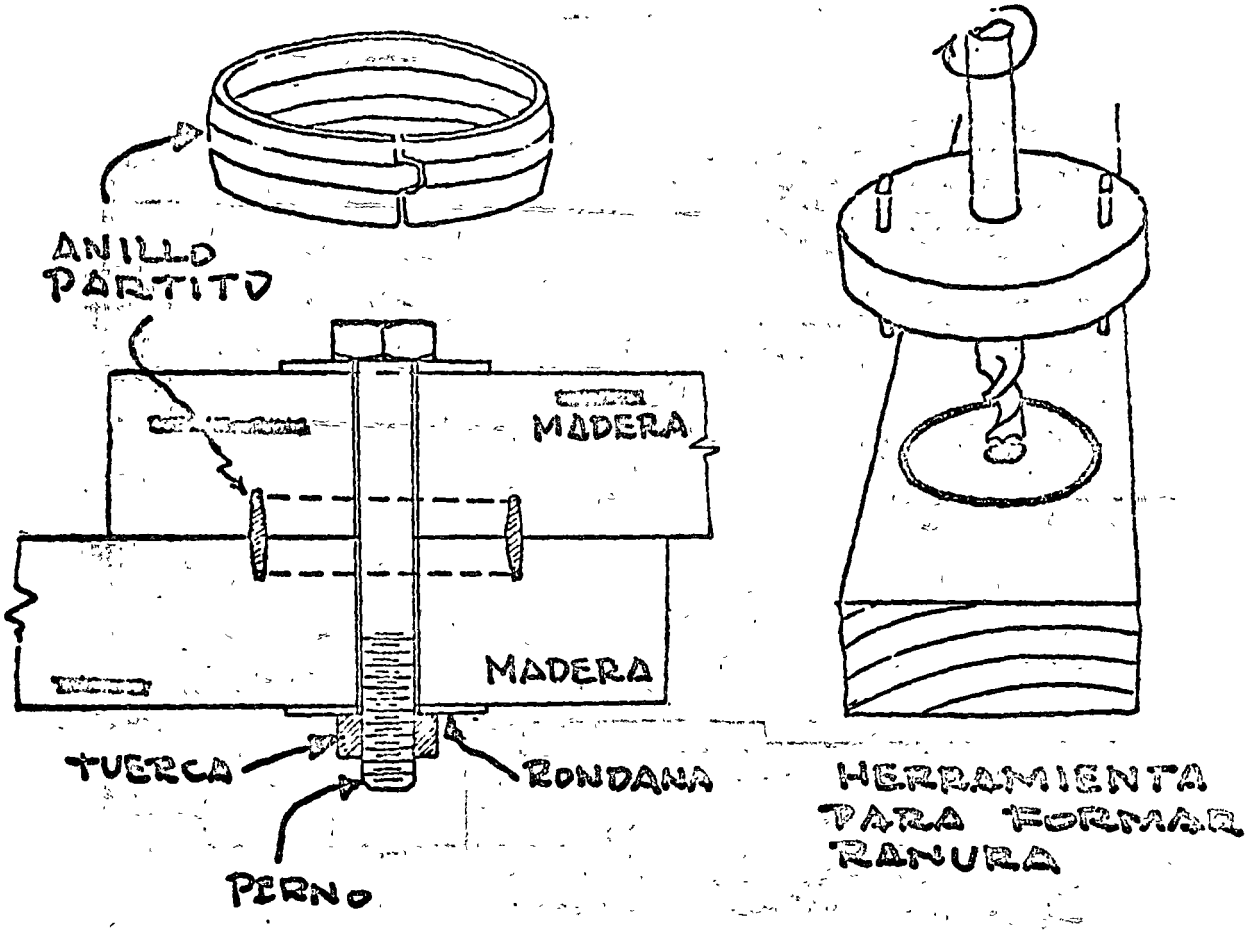
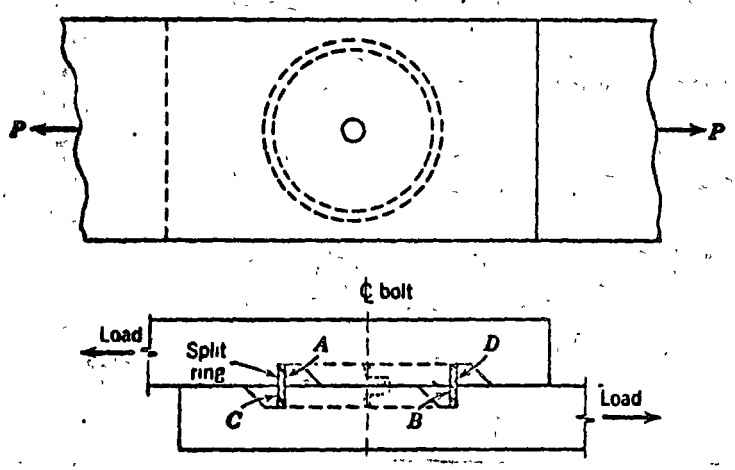


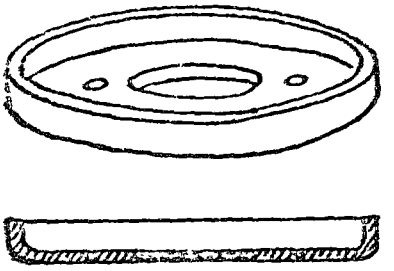
Fig. 18 CONEXIONES CON CUATRO MIEMBROS.





PRINCIPIO DEL ANILLO PARTIDO

Fig 19 CONECTOR DE ANILLO PARTIDO



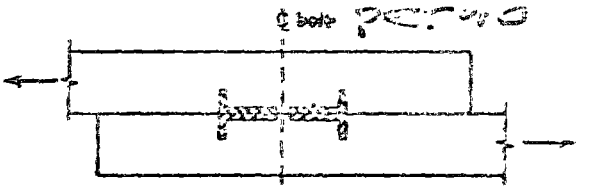


Fig. 20 CONECTOR DE PLACA PARA ESFUERZO CORTANTE

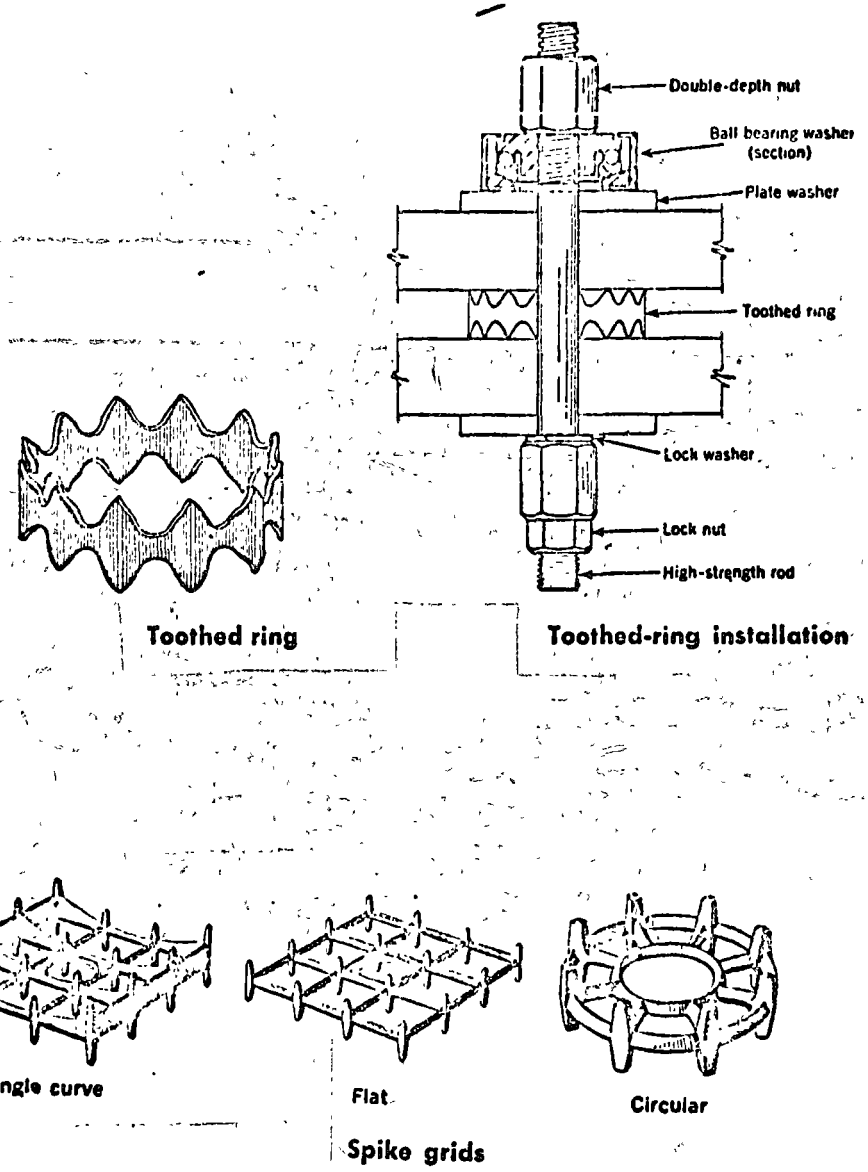


Fig. 21 CONECTORES DIVERSOS

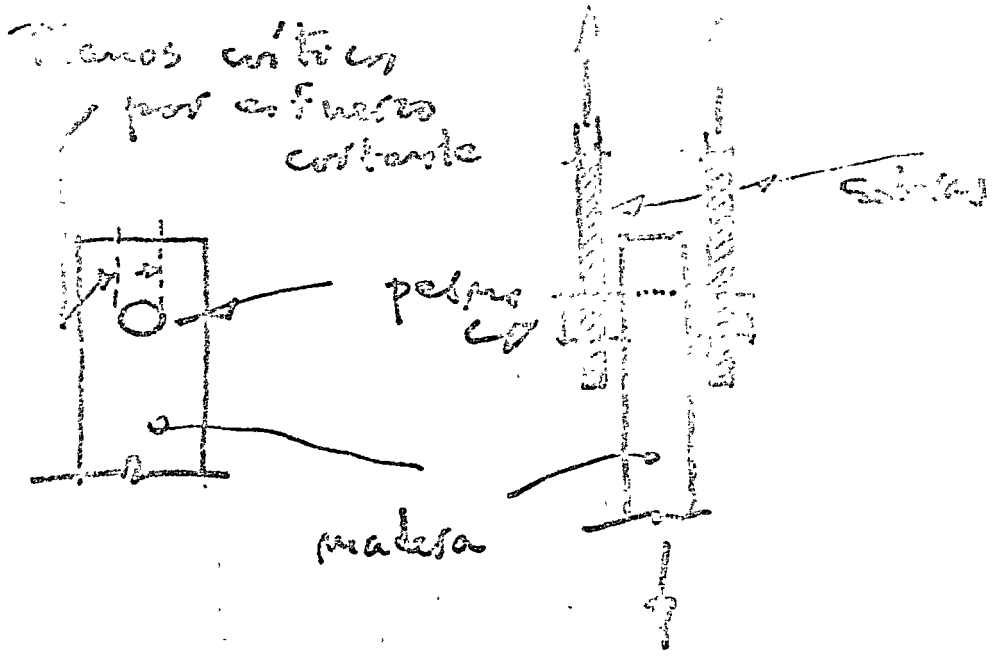
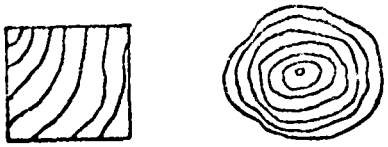
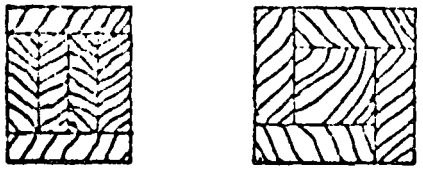


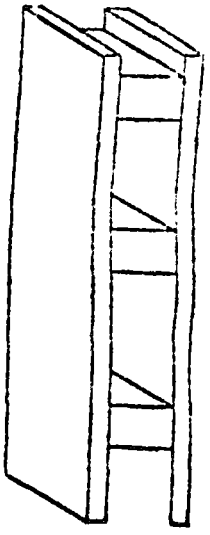
Fig (22) CONEXION ENTRE MIEMBRO DE MADERA SOMETIDO A TENSION



(a) Enterizas

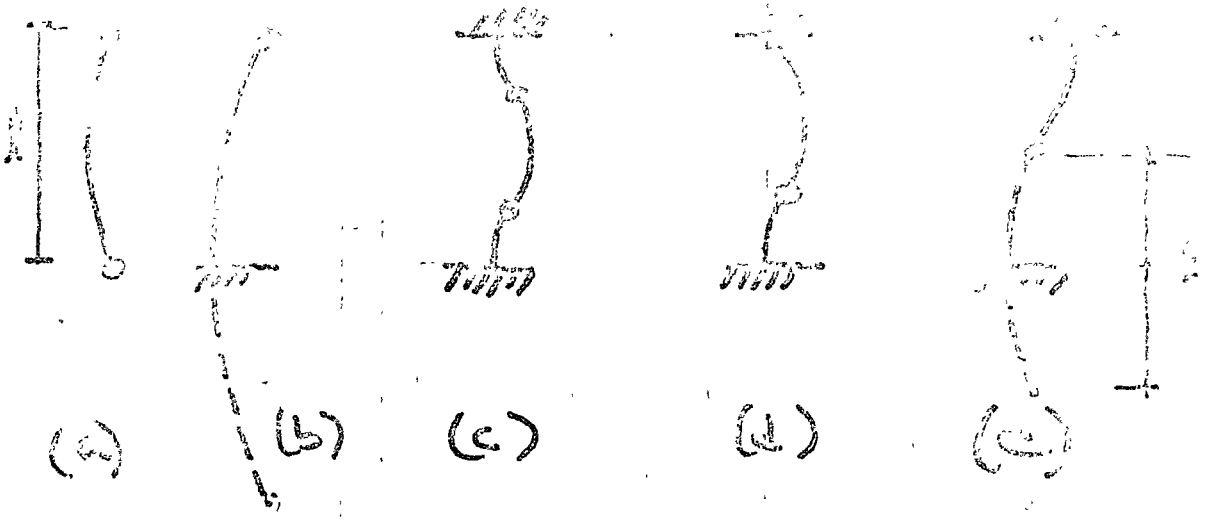


(b) De sección compuesta



(c) De piezas espaciadas

Fig (23) TIPOS DE MIEMBROS DE MADERA SUJETOS A COMPRESION



Condición de restricción	Valor teórico de k	Valor de diseño práctico
(a) Articulada en ambos extremos y restringida al desplazamiento	1	
(b) En voladizo	2	
(c) Empotrada y restringida al centro el desplazamiento en ambos extremos	0.5	
(d) Empotrada y articulada, sin desplazamiento	0.707	
(e) Empotrada en ambos extremos, sin desplazamiento.	1	

Fig. 24 LONGITUDES [illegible] PARA ALGUNAS CONDICIONES TIPICAS

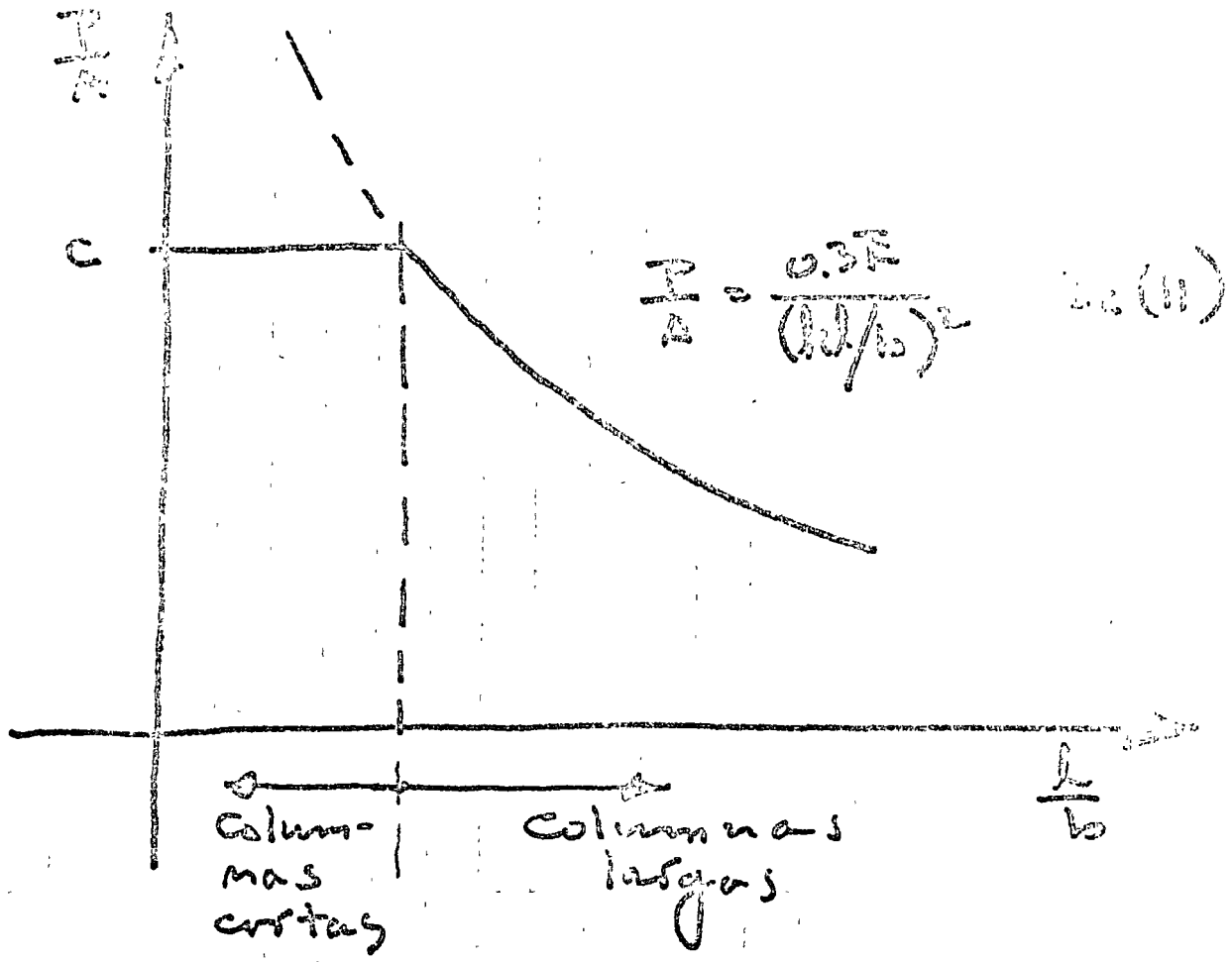


Fig (25) CURVA DE DIMENSIONAMIENTO PARA COLUMNAS DE MADERA BAJO CARGA AXIAL DE COMPRESION

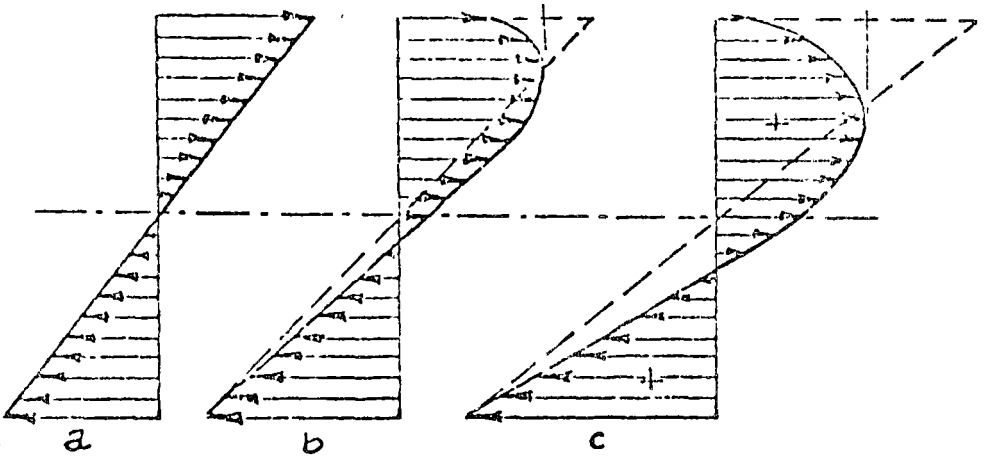


Fig (26) DISTRIBUCION DE ESFUERZOS EN UNA VIGA DE MADERA SUJETA A CARGA CRECIENTE

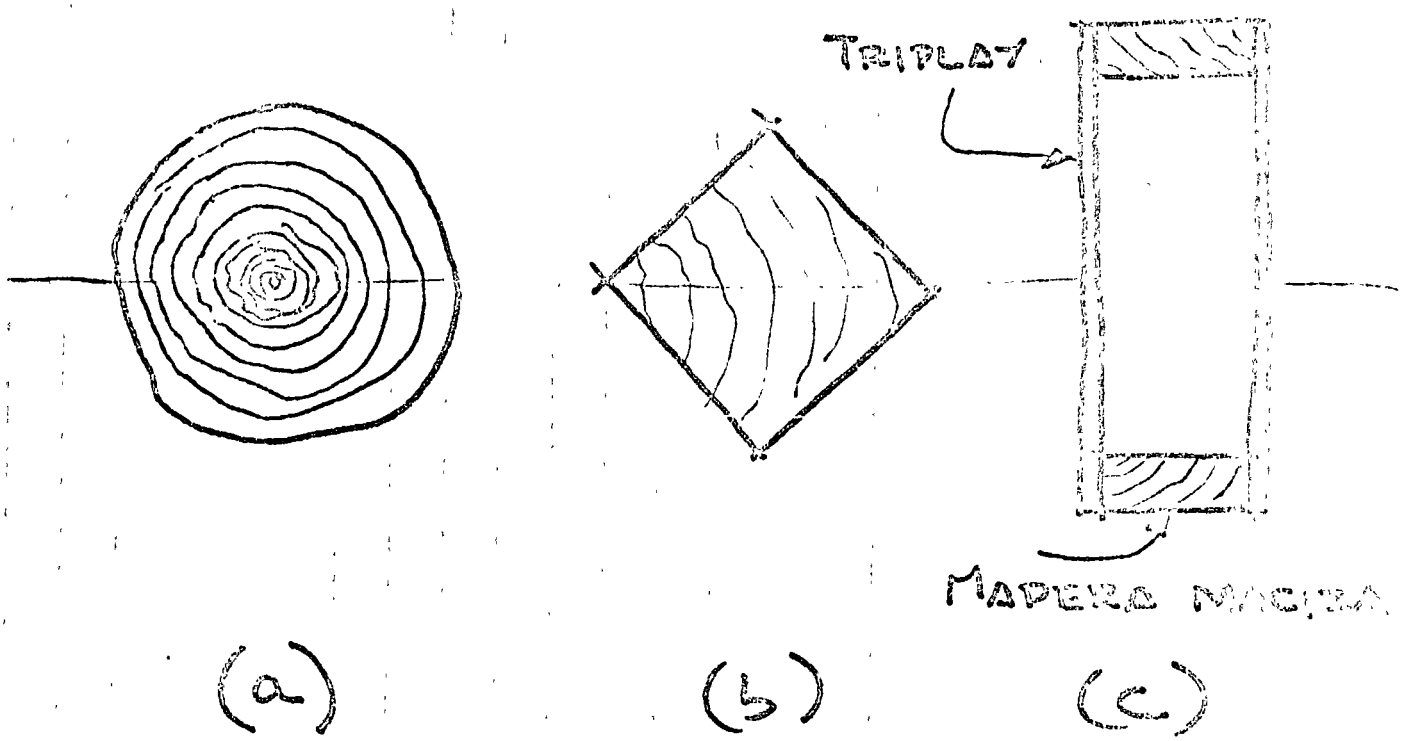


Fig (27) SECCIONES DE VIGAS DE MADERA

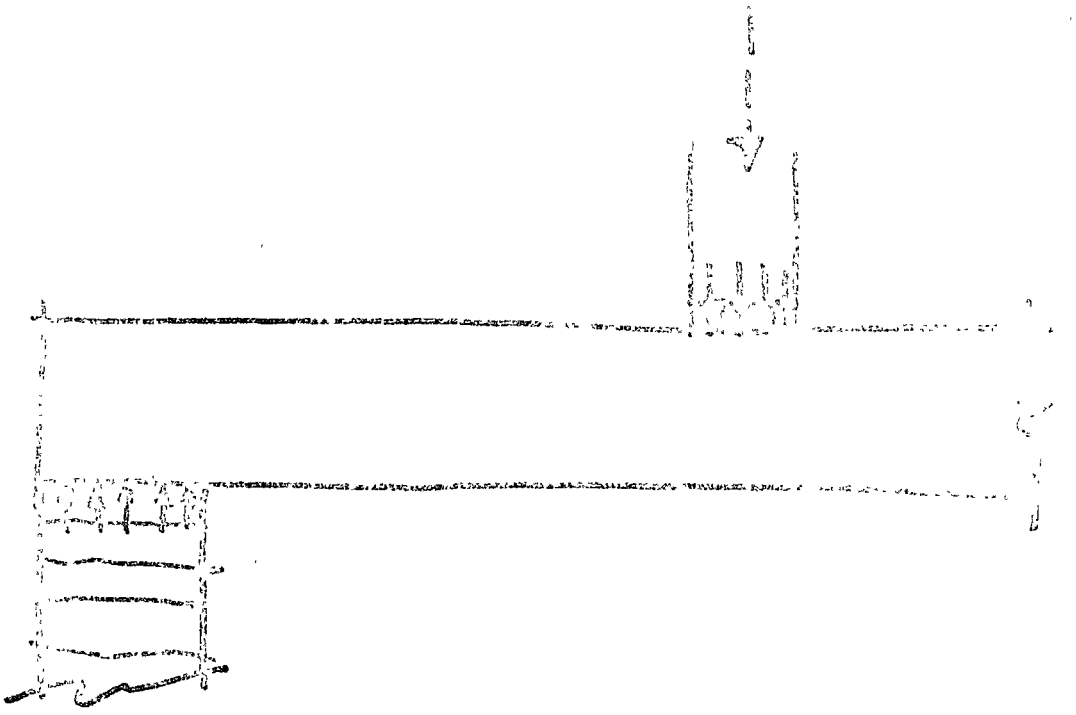
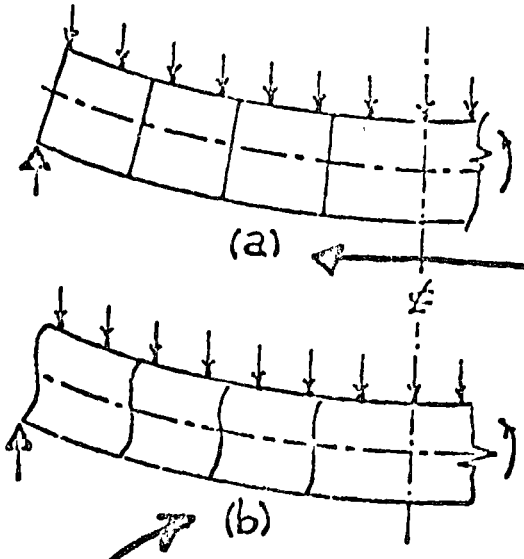


Fig (28) ACCIONES NORMALES A FIBRAS EN VIGA DE MADERA



Condición supuesta que las secciones planas permanecen planas

Condición real supuesta que las secciones planas se vuelven curvas

Fig (29) DEFLEXION DE VIGAS

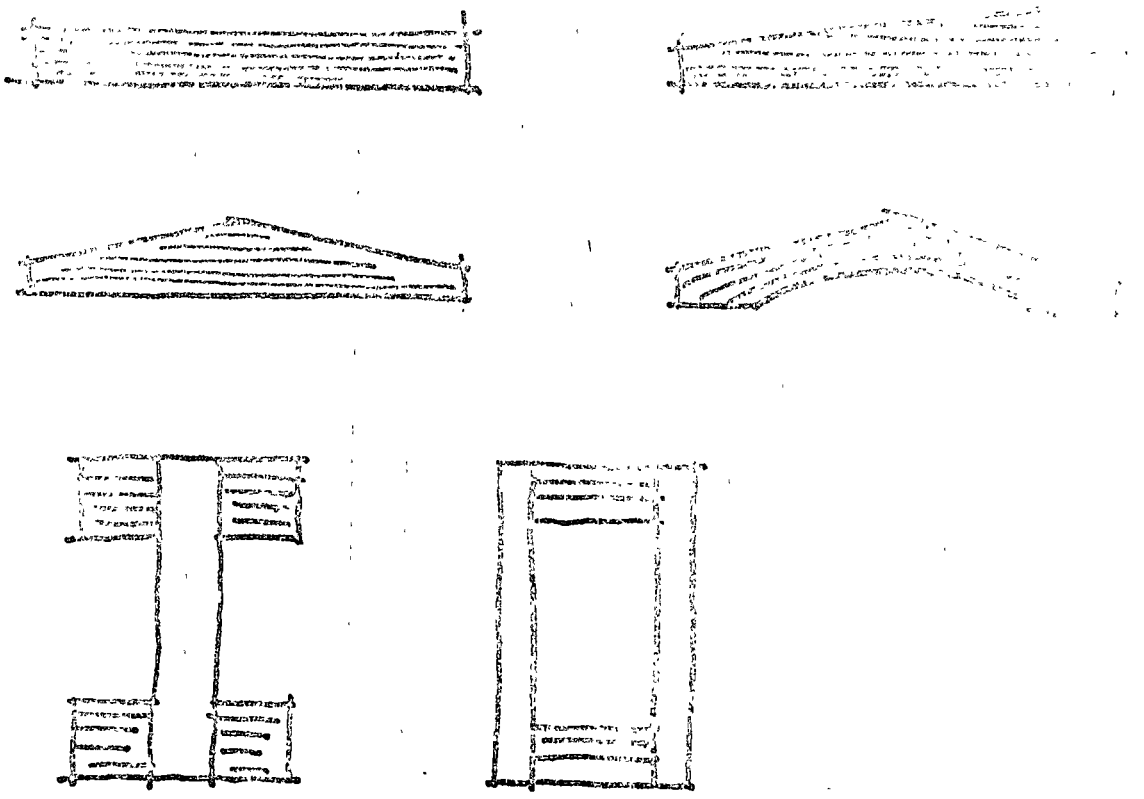


FIG (30) VIGAS DE MADERA LAMINADA - PEGADA

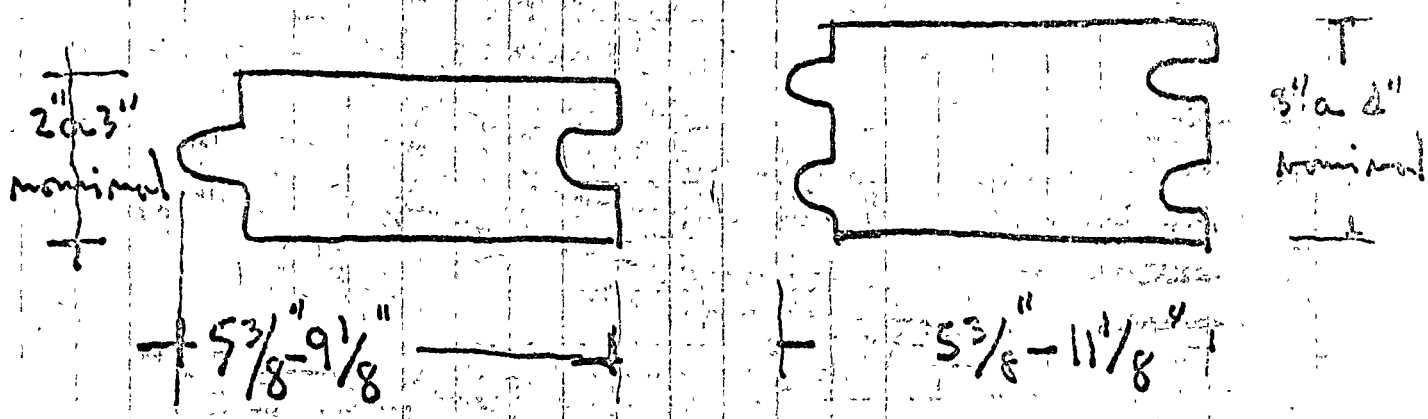


Fig. 301 TABLON MACHI-HEMBRADO PARA CARGAS PESADAS

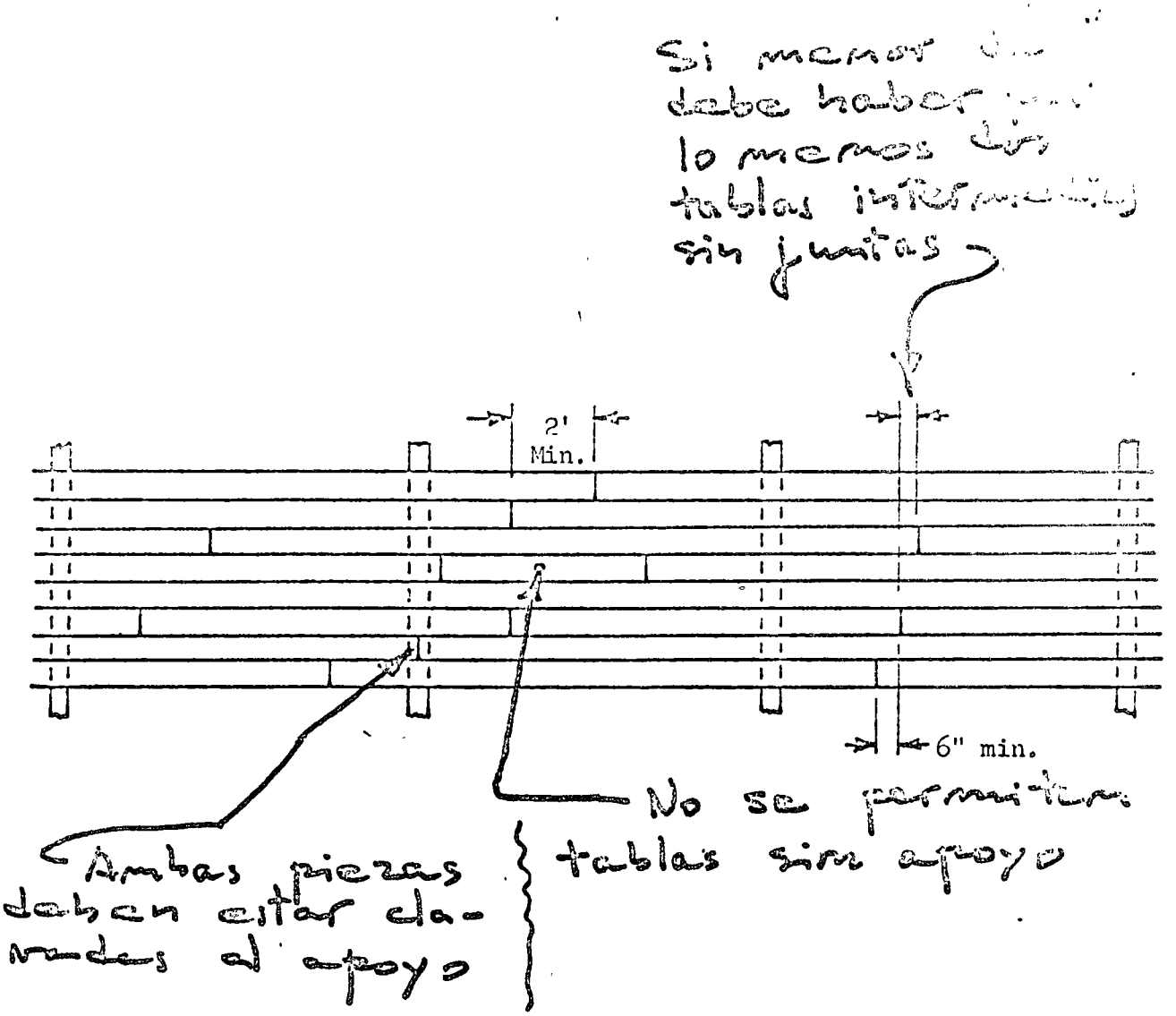


Fig (30") REGLAS PARA PISOS FORMADOS POR DUELAS, TABLAS O TABLONES

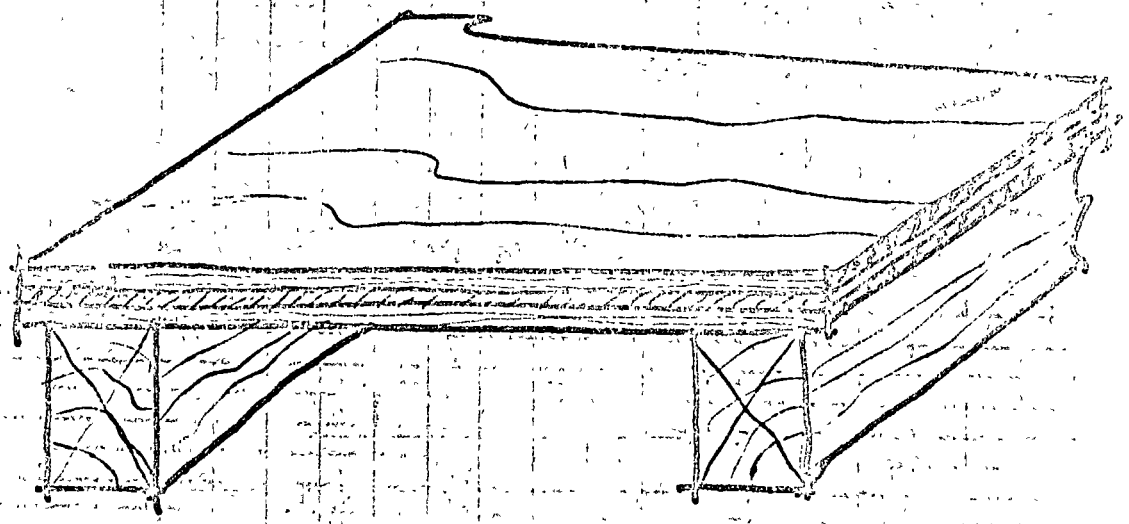


Fig. (31) TRIPLAY CON FIBRAS DE LAS CAPAS EXTERIORES PARALELAS AL CLARO (SENTIDO RESISTENTE)

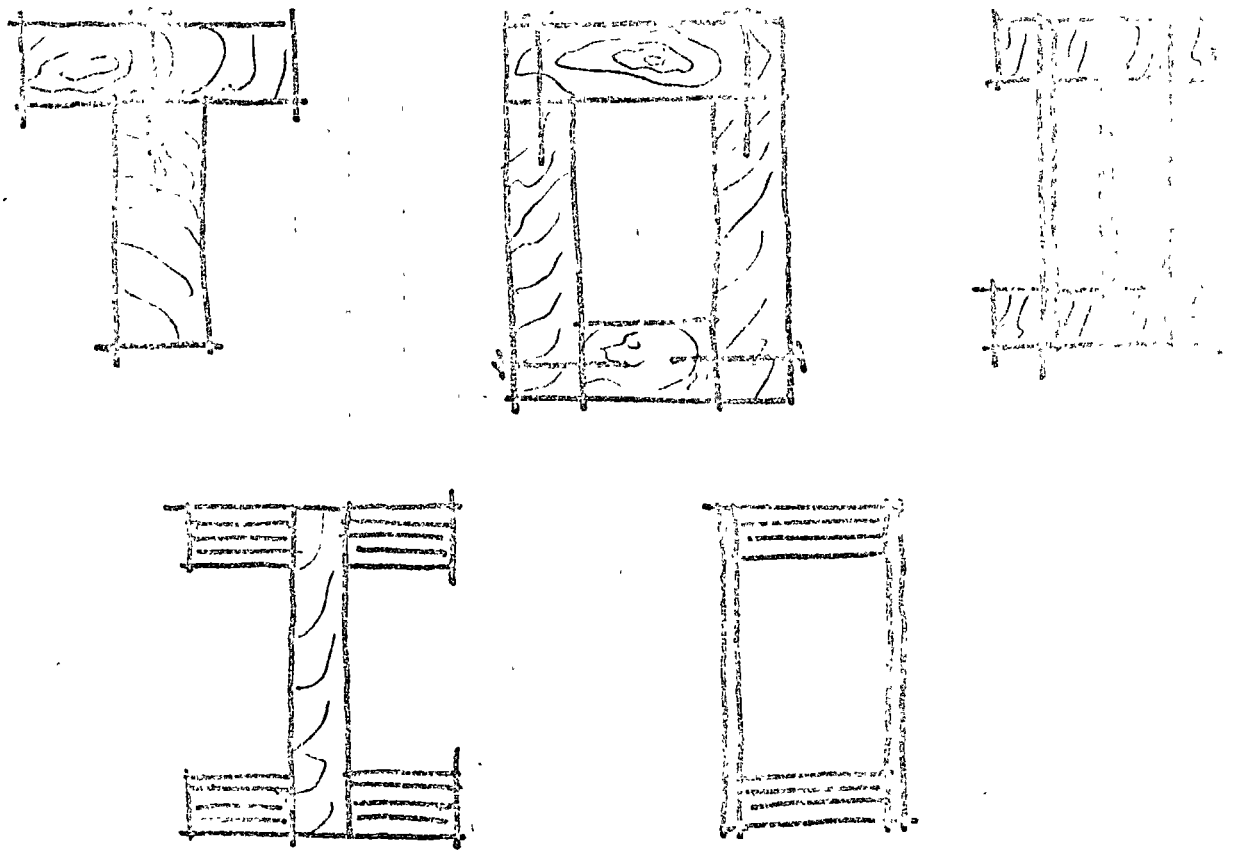


Fig. 32 DIVERSAS SECCIONES COMPUESTAS DE MADERA

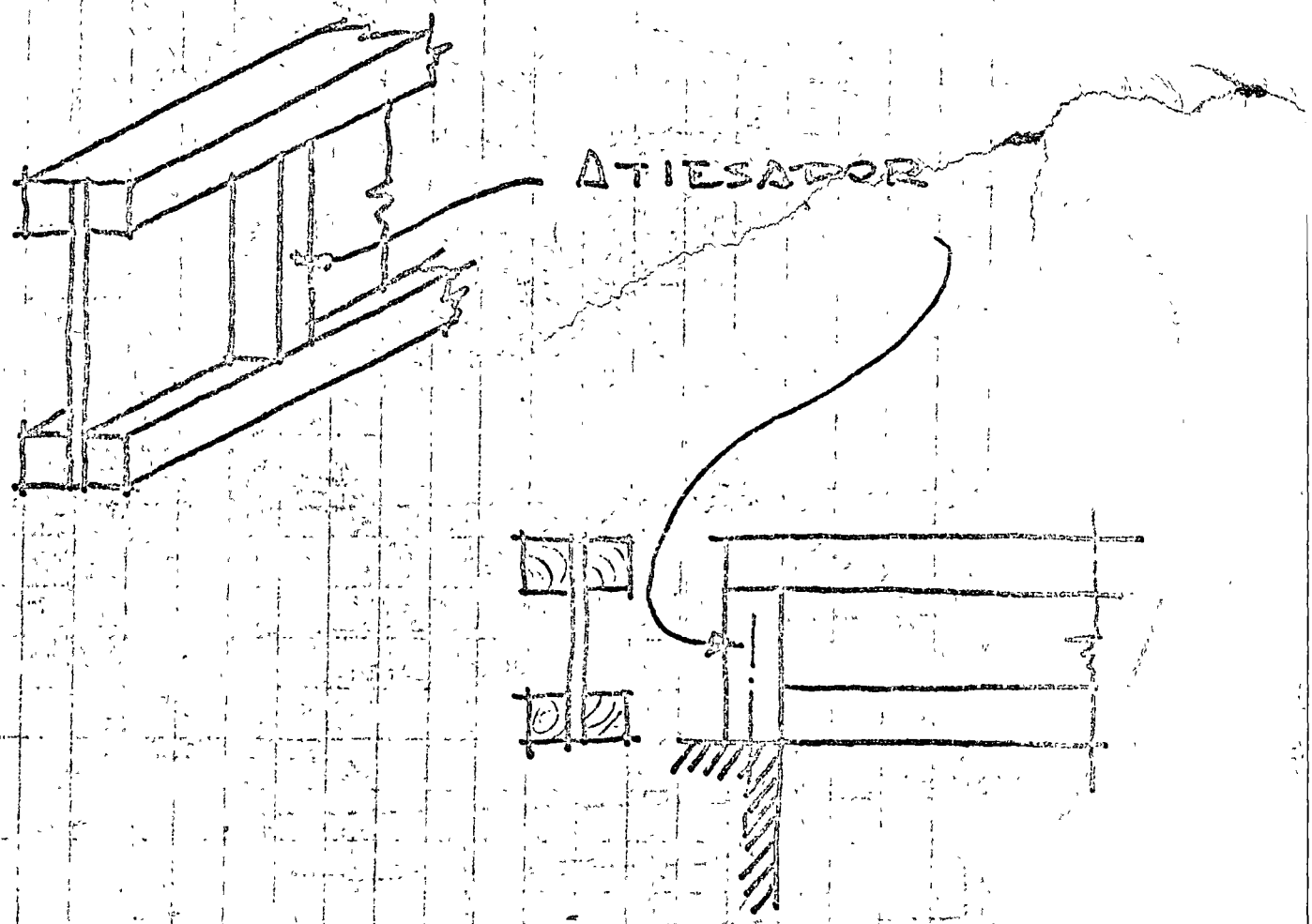
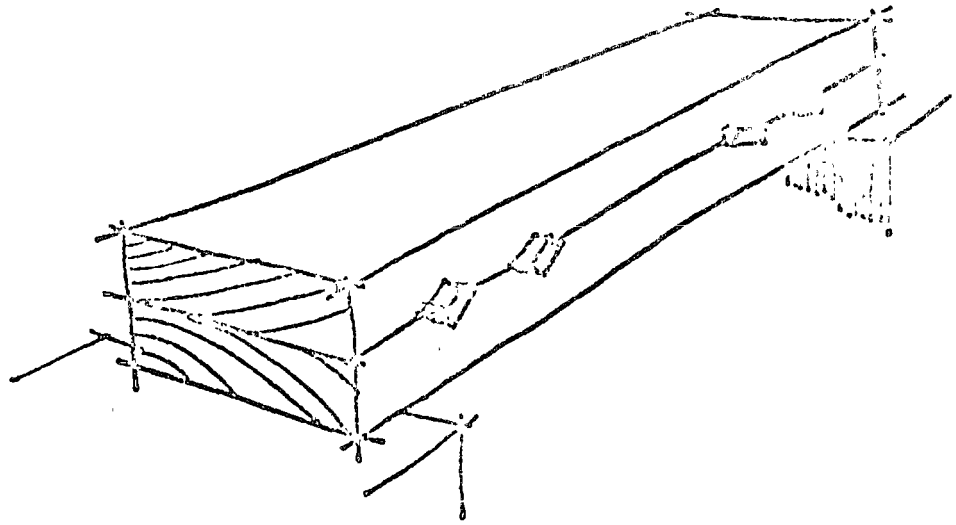
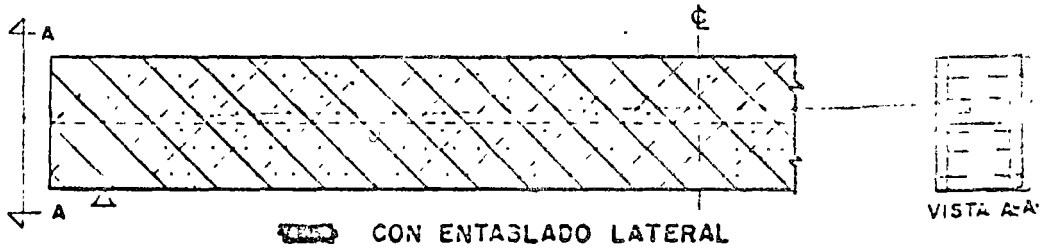
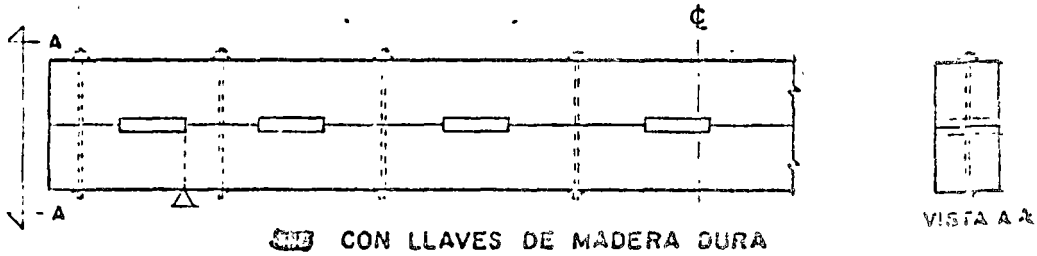


Fig (33) ATIESADORES EN VIGAS CON ALMAS DE TRIPLAY

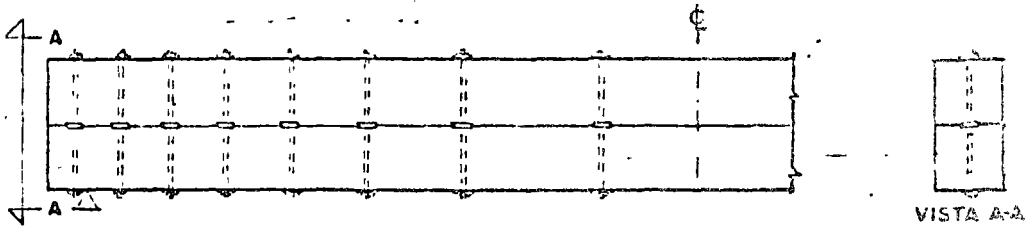




CON ENTABLADO LATERAL



CON LLAVES DE MADERA DURA



CON HERRAJES (CONECTORES)

Fig 34 VIGAS COMPUESTAS SOBREPUESTAS

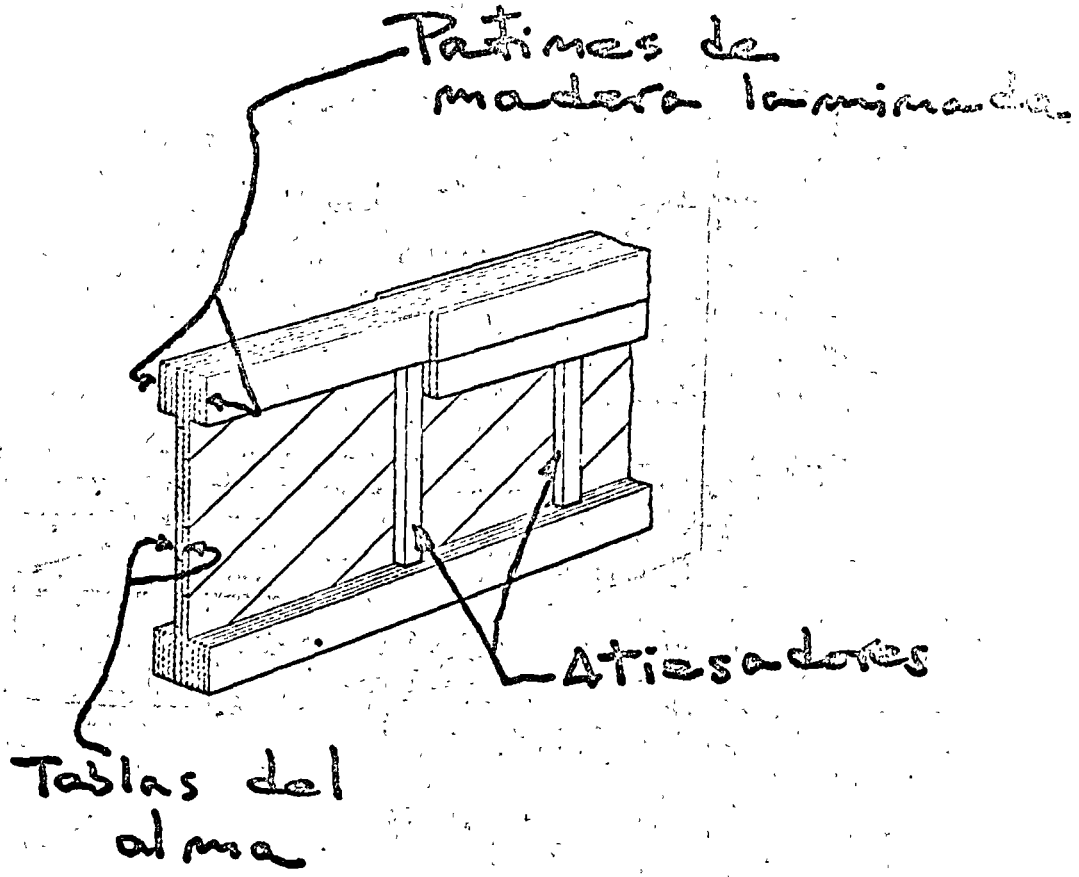


Fig. 35 SISTEMA HB

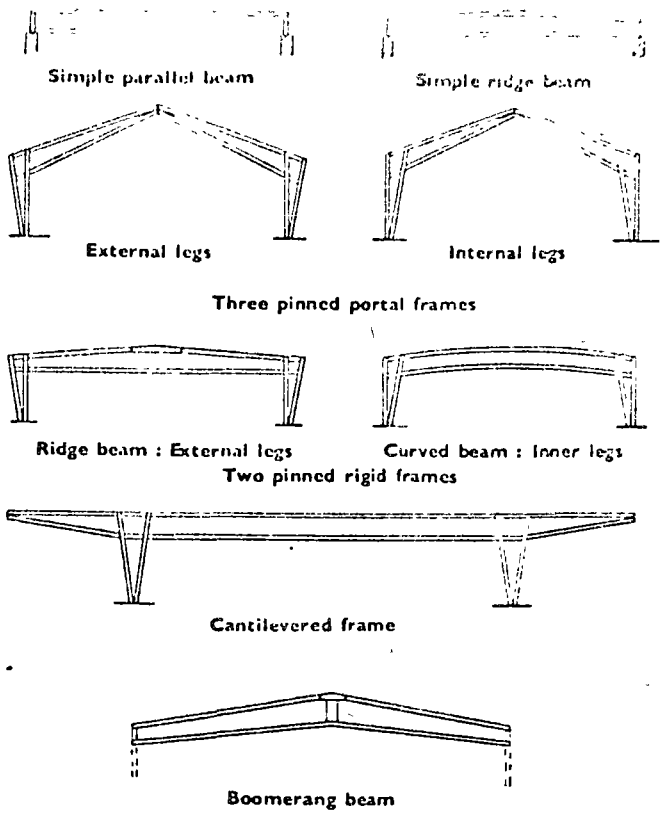


Fig. 36 EJEMPLOS DE APLICACION DEL SISTEMA

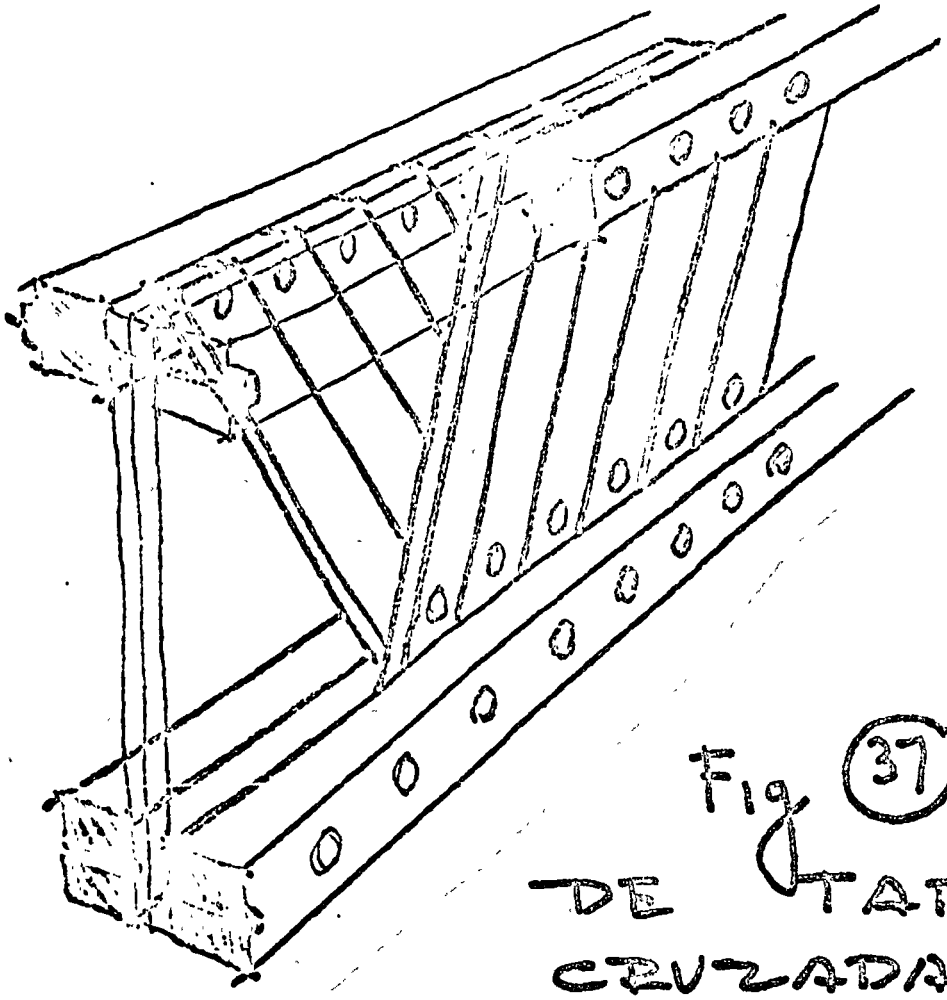
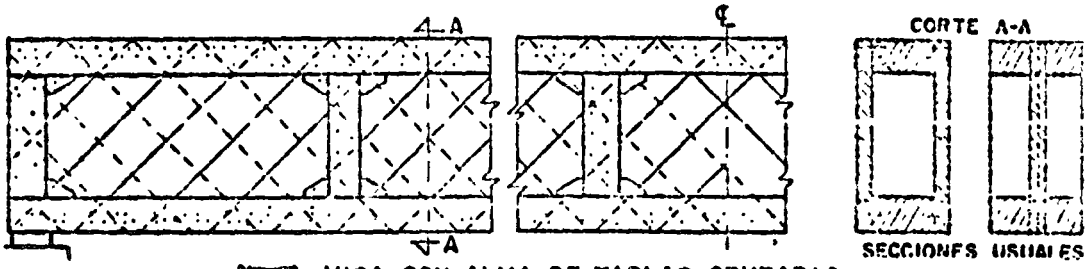
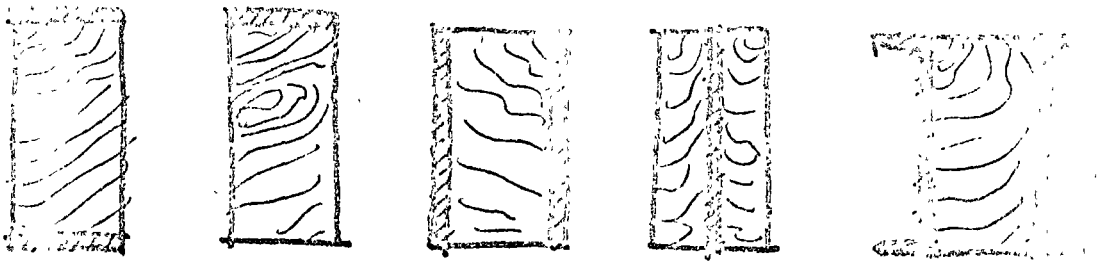


Fig. 37 VIGAS DE TABLAS CRUZADAS

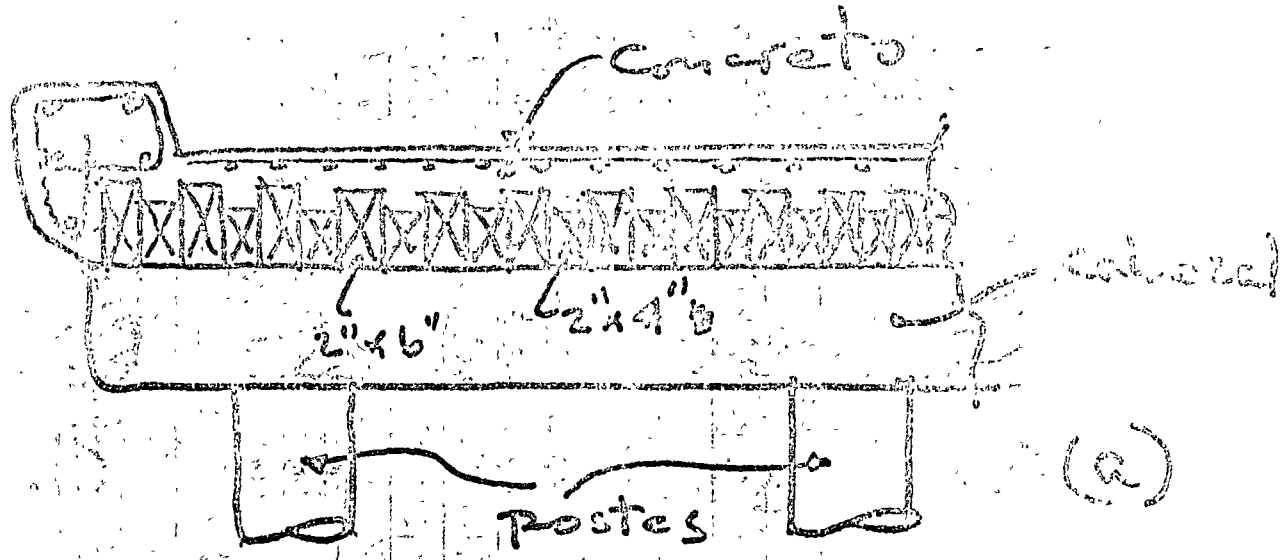


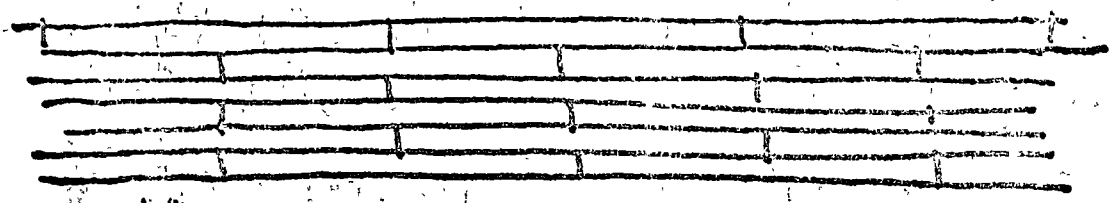
VIGA CON ALMA DE TABLAS CRUZADAS



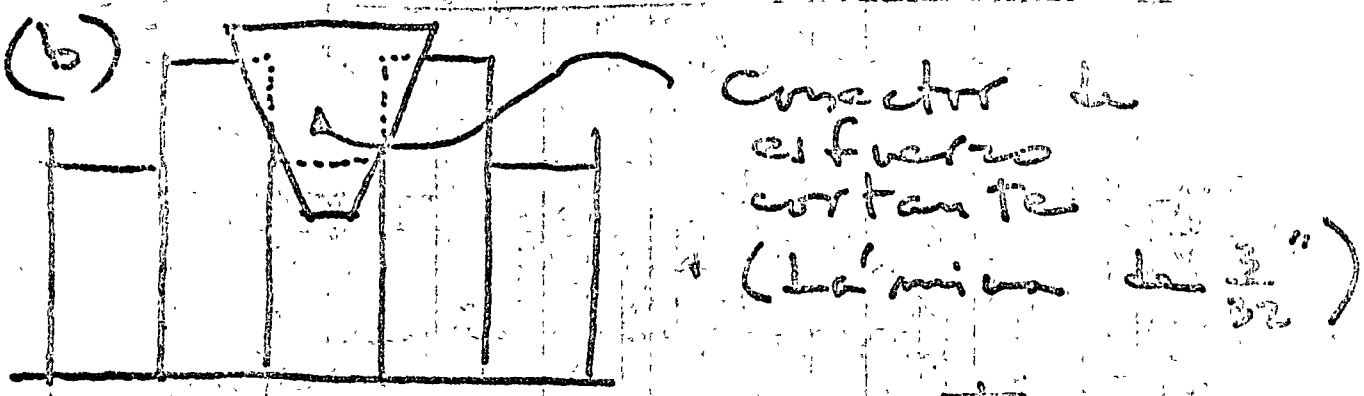
(a) (b) (c) (d) (e)

Fig (38) SECCIONES COMPUESTAS DE MADERA Y ACERO





Detalle juntas elementos laminados



Los conectores se insertan en ranuras formadas en la madera

Fig. 39' LOSA COMPUESTA DE MADERA Y CONCRETO

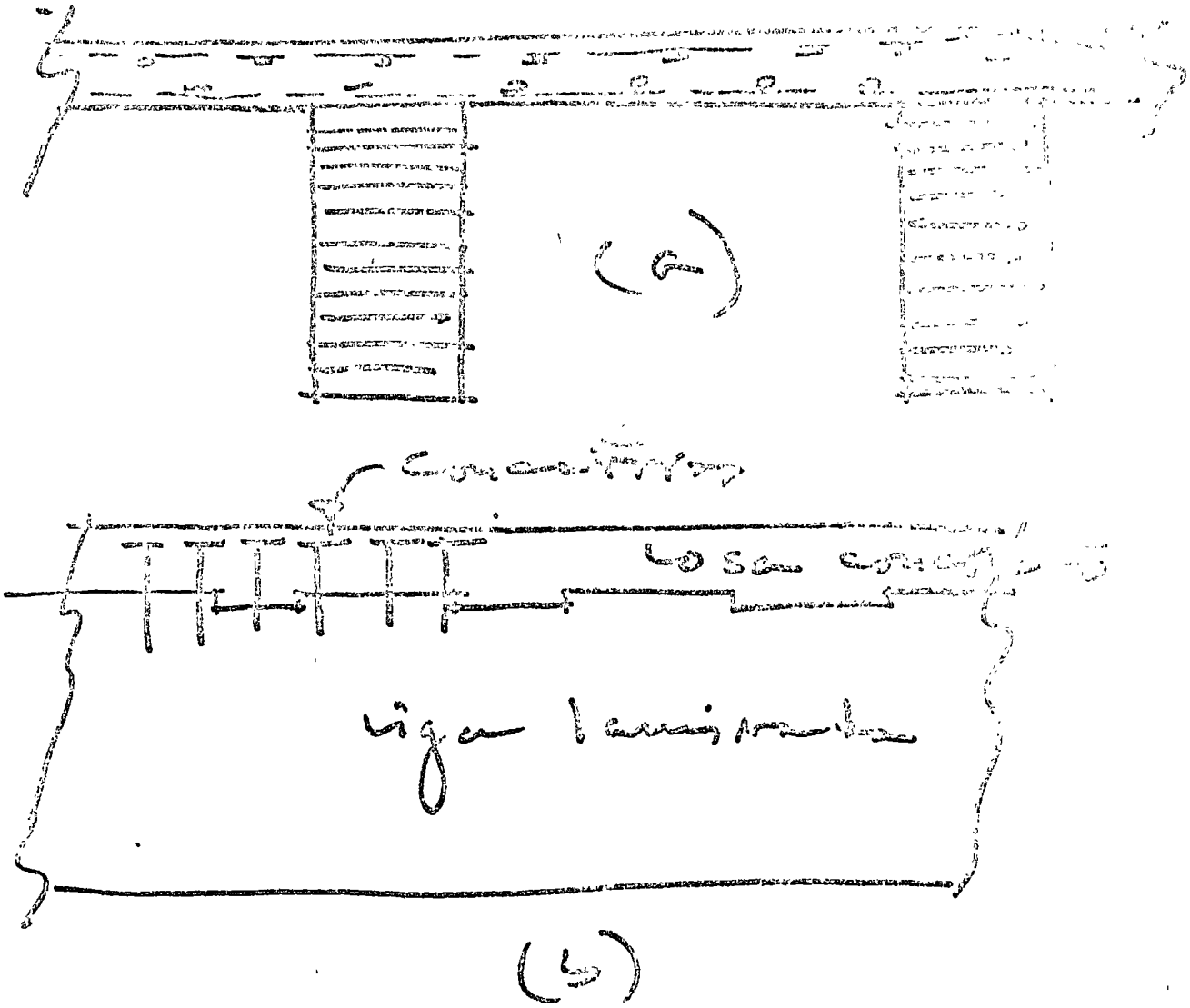


Fig (59) VIGA COMPUESTA DE MADERA Y CONCRETO

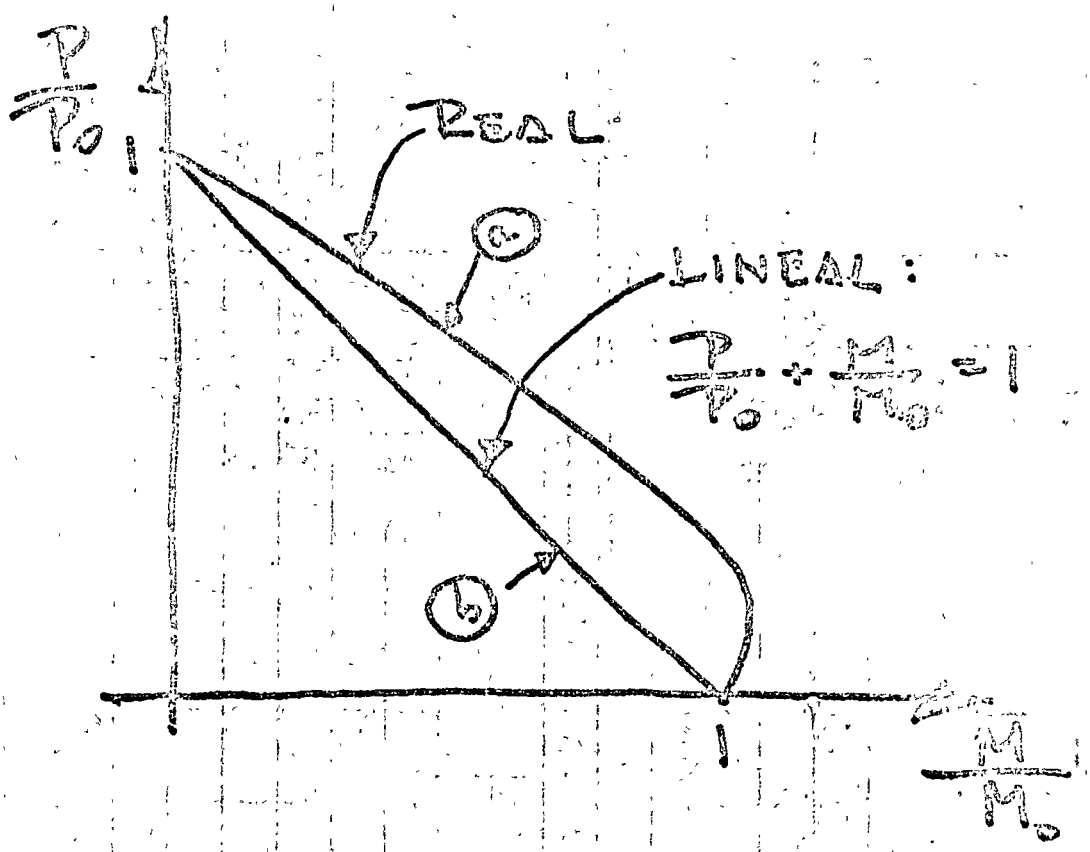


Fig 40 DIAGRAMAS DE INTERACCION CARGA AXIAL - MOMENTO

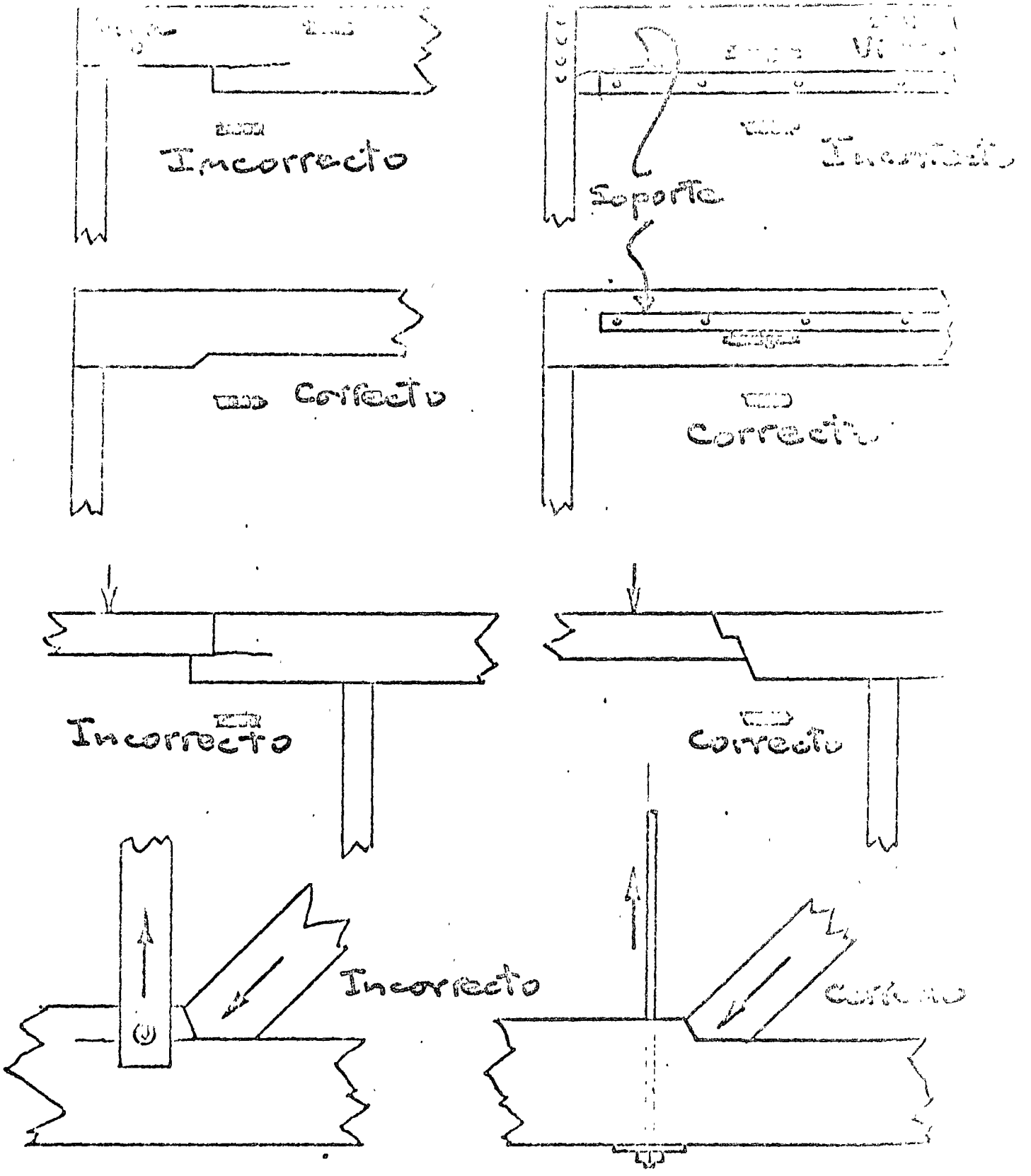
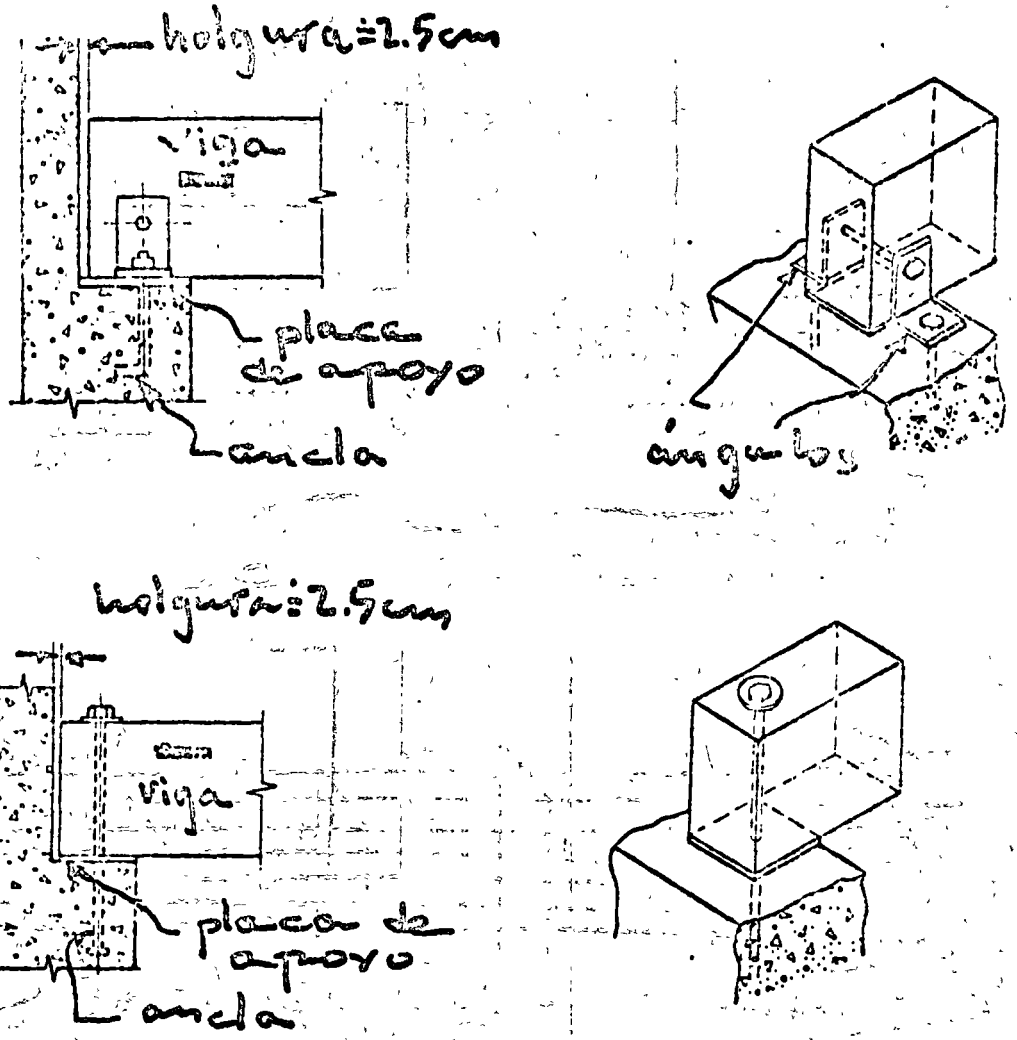
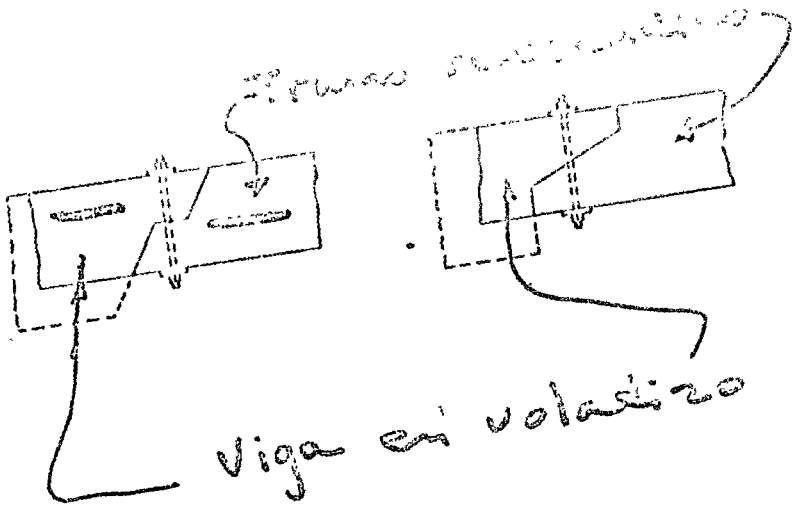


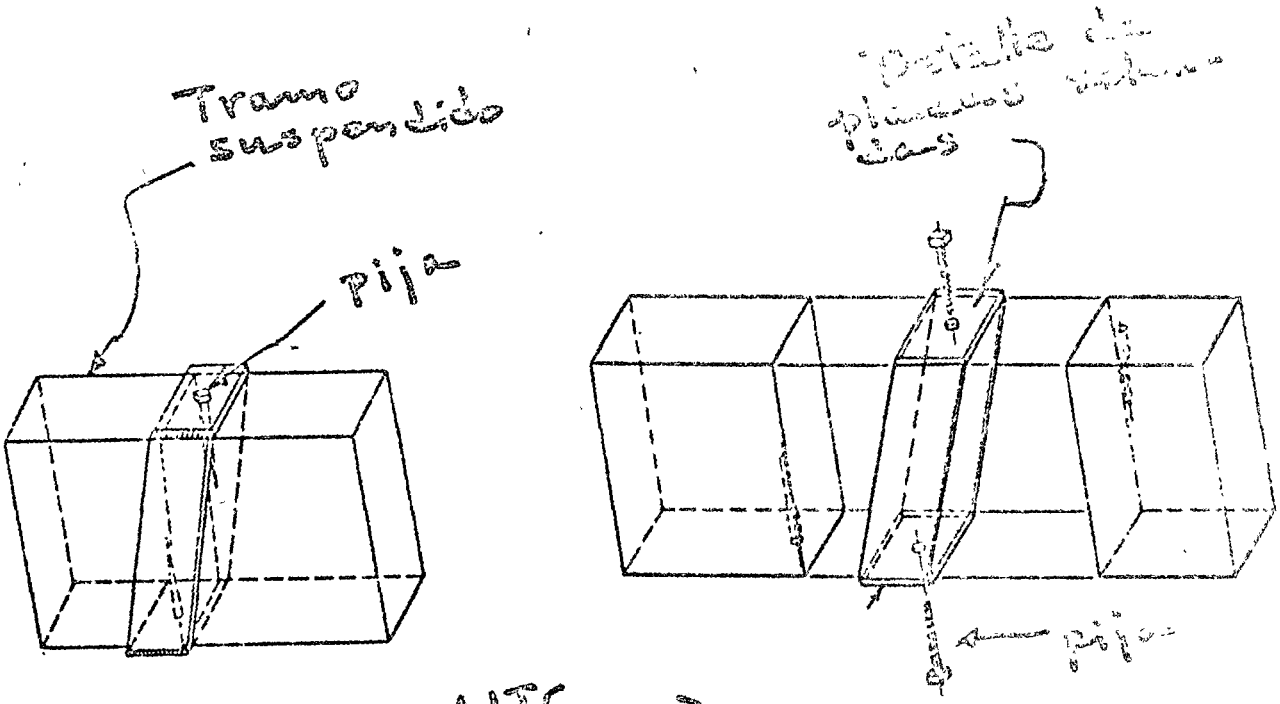
Fig (41). PRACTICAS CONVENIENTES EN EL DETALLADO DE CONEXIONES



(Ver Manual AITC para más detalles.)

Fig. 42 DETALLES DE APOYO Y ANCLAJE DE VIGAS EN CONCRETO O MAMPOSTERIA

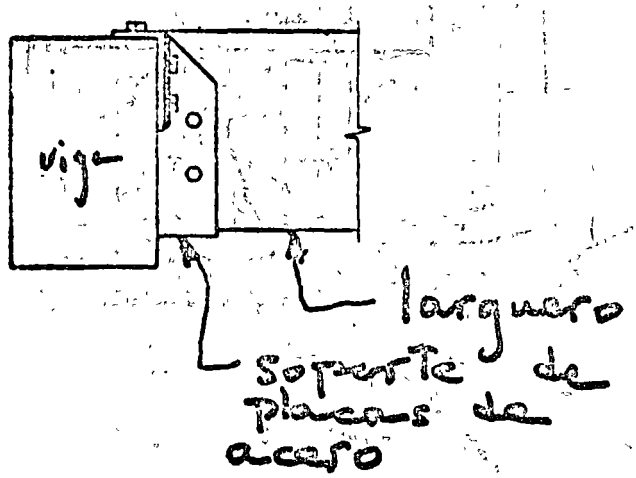


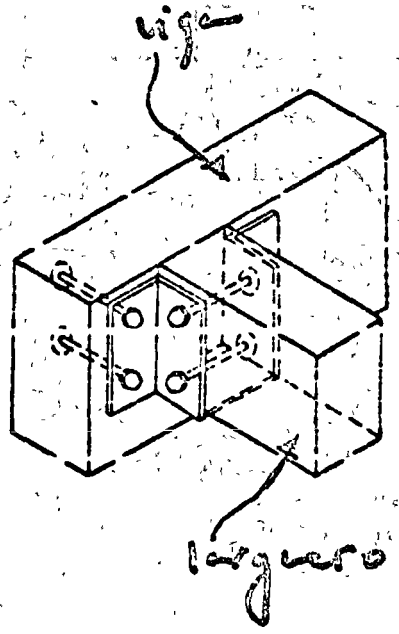


8

(Ver Manual AITC para más detalles.)

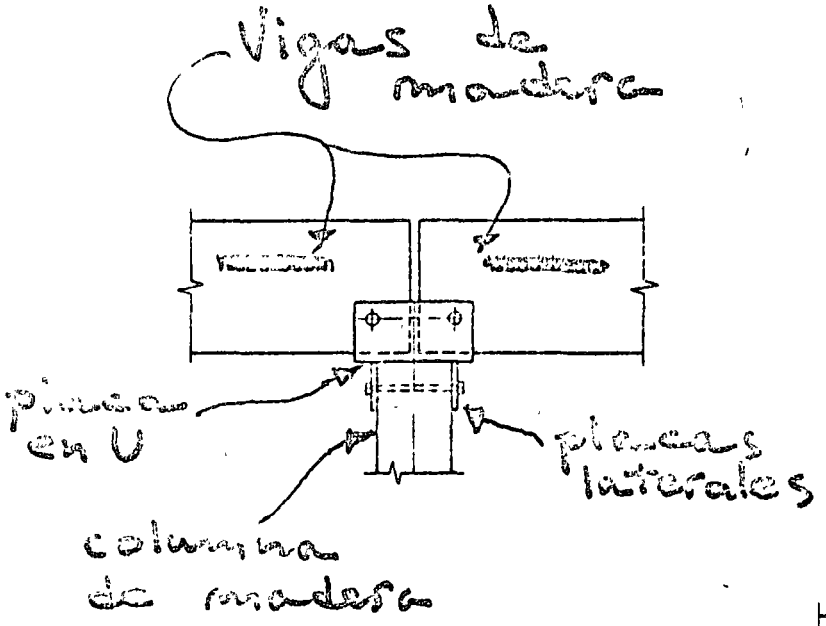
Fig. 43 CONEXION DE TRAMOS DE VIGA SUSPENDIDOS



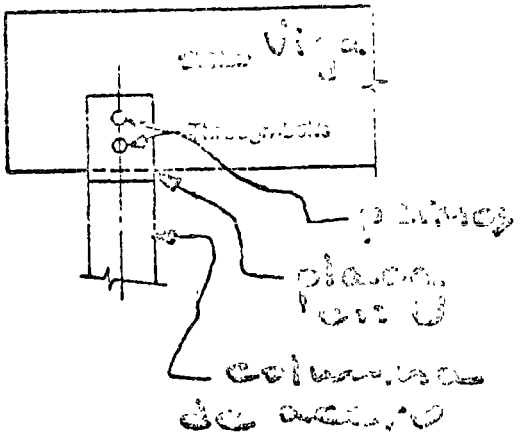


(Ver Manual AITC para más detalles.)

Fig. 44 APOYOS DE LARGUERO SOBRE VIGA



(Ver Manual AITC para más detalles.)



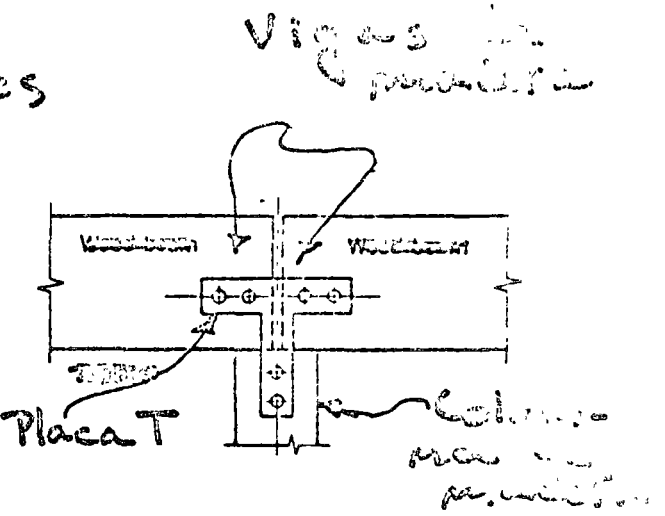
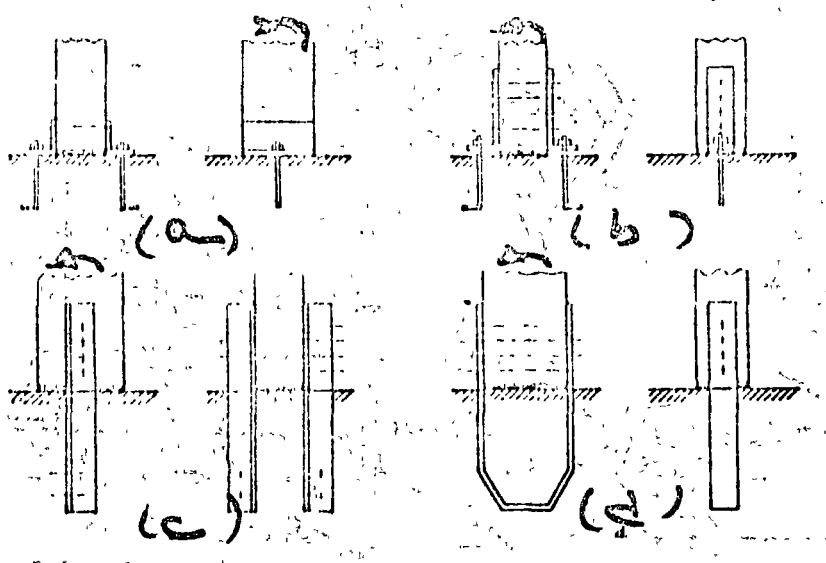


Fig. 45 CONEXIONES ENTRE COLUMNAS Y VIGAS



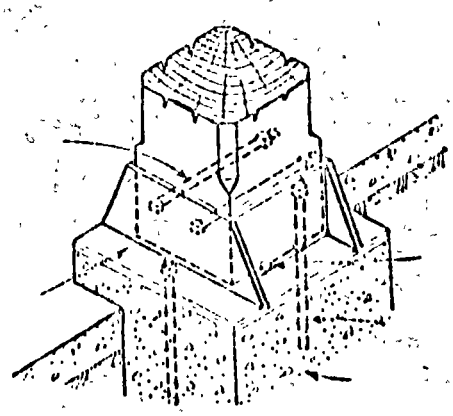
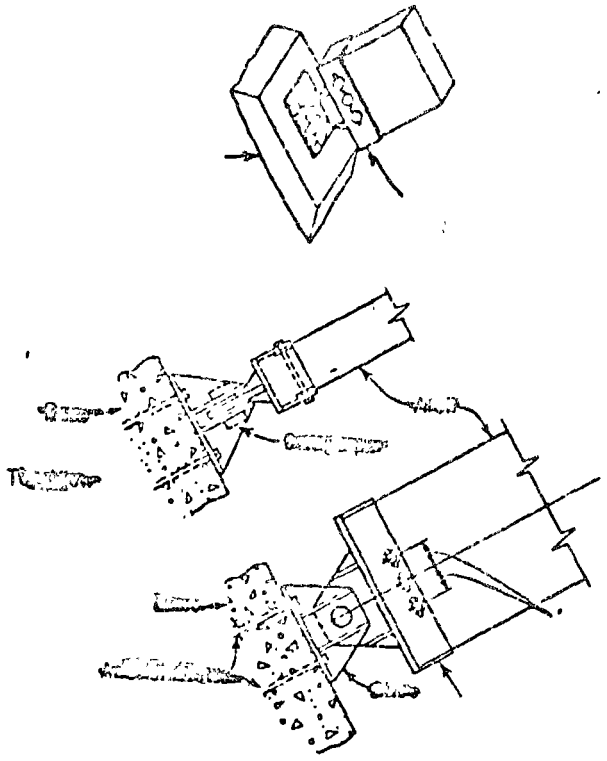


Fig. 46 APOYOS DE COLUMNAS SOBRE CIMENTACIONES



(Para otros detalles, ver Manual ATEC.)

Fig (47) APOYO ARTICULADO PARA UN ARCO

centro de educación continua
división de estudios superiores
facultad de ingeniería, unam

PROYECTO Y USOS ESTRUCTURALES DE LA MADERA

APLICACIONES ESTRUCTURALES DE LA MADERA

ING. FRANCISCO ROBLES FERNANDEZ

JUNIO DE 1976.

APLICACIONES ESTRUCTURALES DE LA MADERA

Francisco Robles
Universidad Autónoma Metropolitana

"La madera es el único material vivo que se emplea en la construcción y, como todo lo que proporciona la vida, es algo menos rígido que los otros. El atractivo que tiene la madera procede, en gran parte, de sus cualidades vitales."

Eduardo Torroja, en "Razón y ser de los tipos estructurales"

1. INTRODUCCION

El interés actual en la madera como material estructural obedece en gran parte a que es un material vivo. En efecto, como ha dicho el Dr. Blomquist, "la madera es el único recurso natural renovable que puede producirse y manejarse como una cosecha y que tiene buenas propiedades estructurales". En esta época en que nos preocupa por una parte la crisis de energéticos y de minerales y por otra la creciente contaminación ambiental, parece que debería estar en auge un material como la madera, cuya transformación en material de construcción implica menor consumo de energía y menor contaminación del aire

y del agua que los que caracterizan a la fabricación de materiales tales como el acero, el cemento, el aluminio y los tabiques. Debido a la ligereza de la madera, el ahorro de enérgéticos se consigue no sólo en los procesos de elaboración sino también en el bajo costo de transporte.

Por otra parte contribuye al interés de la madera como material estructural, el que la producción de productos derivados de la madera puede dar origen a multitud de industrias que podrían constituir una importante fuente de ingresos para los ejidos y para la población rural en general. Una ventaja de las industrias de la madera es que, por regla general, requieren inversiones iniciales bajas. Además las plantas pueden ser relativamente pequeñas sin menoscabo de su eficiencia.

La naturaleza viva de la madera se refleja en lo complejo de su estructura. Tanto sus cualidades como sus limitaciones se derivan de esta estructura. En las palabras de Torroja: "Las fibras son la característica constitutiva esencial de la madera. La fibra le da su belleza, su expresión resistente, su estructura vital." La estructura fibrosa de la madera es el origen de su naturaleza anisótropa, que constituye un inconveniente desde el punto de vista de su uso como material estructural: es resistente a los esfuerzos normales paralelos a

las fibras, pero es débil ante estas acciones en sentido perpendiculas a ellas. También es baja su resistencia a esfuerzos cortantes paralelos a las fibras. Por otra parte, es en las fibras donde reside el atractivo estético de las variadas texturas de la madera.

Una ventaja importante de la madera es su ligereza. Es de los materiales que puede desarrollar una mayor fuerza de tensión o compresión por unidad de peso.

Constituye una limitación de la madera la forma en que se encuentra en la Naturaleza: en piezas rectas de longitud mayor que sus dimensiones transversales. Tanto el tamaño como la forma imponen restricciones a las escuadrías posibles.

Desventajas adicionales de la madera son su tendencia a los cambios volumétricos con los cambios de humedad del ambiente, el aumento progresivo con el tiempo de las deformaciones bajo carga permanente, la dificultad de realizar uniones adecuadas, el peligro de pudrición bajo la acción de determinados organismos vivos y el peligro de incendios. Estos inconvenientes, que pueden contrarrestarse en grado razonable, a veces se exageran. Incluso el comportamiento ante incendios, puede ser más favorable que el de otros materiales. La durabilidad puede ser considerable. Existen techos en Inglaterra que datan del siglo XIII y es frecuente encontrar elementos de chico-

zapote en las ruinas mayas que todavía cumplen con su función estructural.

No obstante sus inconvenientes, el interés de la madera como material estructural parece claro. Sorprende que en México, cuyas reservas forestales son apreciables, su uso esté restringido a la construcción de viviendas rudimentarias, de cimbras y obras falsas para estructuras de concreto, y, ocasionalmente, de algún techo para instalaciones industriales o lugares de reunión, y a la elaboración de durmientes de ferrocarril y postes para la transmisión y distribución de energía eléctrica.

2. ALGUNOS ANTECEDENTES HISTORICOS

La madera fue el primer material utilizado por el hombre, con capacidad para resistir tensión y compresión, y, por lo tanto, flexión. Se mencionan algunos ejemplos de usos de la madera en épocas pasadas.

2.1 Viviendas paleolíticas de Rusia

Los indicios más antiguos del uso de la madera.

2.2 Palafitos y viviendas comunales del neolítico

2.3 Viviendas de la época preclásica en México

2.4 Arsenal de Pireo

2.5 Puentes galos y chinos

2.6 Puente de Trajano

Diseñado por Apolodoro. 99 d. de J.C. 20 pilas y un claro total de aproximadamente un kilómetro.

2.7 Antigua catedral de San Pedro en Roma.

326 d. de J.C.

2.8 Techos de madera en Inglaterra.-

Viviendas y edificios religiosos. Abadía de Westminster

(siglo XIII).

2.9 Techos de madera en China.

2.10 Techos de armaduras durante el Renacimiento.

Palladio, siglo XVI.

2.11 Obra falsa para levantar el obelisco de la Plaza de San Pedro

Se cambió en el siglo XVI desde su antiguo lúgar en el Circo Máximo. Peso: 327 toneladas. Proyecto Doménico Fontana.

2.12 Puentes cubiertos suizos y americanos

Puente de Schaffhausen en Suiza. 120 metros. Construido inicialmente con un apoyo al centro. Siglo XVIII. Destruidom por los franceses en 1799. Puentes semejantes fueron construidos en Nueva Inglaterra enlos siglos XVIII y XIX. El objeto de la cubierta era proteger la cubierta.

3. EVOLUCION DE LAS FORMAS ESTRUCTURALES EN MADERA

3.1 El poste

El árbol vivo sugiere el uso estructural de la madera como soporte vertical: el poste empotrado en el suelo. Puede usarse sin labrar.

3.2 La viga

El árbol caído sugiere el uso de la madera como viga.

Los primeros puentes y techos se hicieron con troncos sin labrar. Siguió el empleo de la madera labrada o aserrada. Un paso importante fue el invento del machihembrado, que permite la transmisión transversal de cargas.

3.3 La armadura

Las limitaciones en escuadría de la madera restringen los claros en que pueden usarse elementos sujetos a flexión. La

triangulación se desarrolló como una forma de salvar claros grandes con poco peso. En las armaduras trianguladas el material se usa con gran eficiencia puesto que los miembros trabajan en compresión o tensión uniformes en toda su sección y longitud. Los primeros intentos de triangulación se hicieron con madera para techos de dos aguas. En los puentes de madera la triangulación ha sido siempre un elemento esencial. Aun hoy es uno de los recursos estructurales más comúnmente utilizados.

3.4 Madera laminada-pegada

Los miembros de madera laminada pegada o encolada están formados por tablas que varían en espesor de 5/8" a 2". Cada tabla puede ser de longitud relativamente pequeña. Para obtener piezas de dimensiones importantes pueden usarse varias tablas en cada capa. Si la unión entre las tablas se hace adecuadamente la resistencia de las juntas es semejante a la de la madera maciza.

Las vigas de madera laminada pueden hacerse con las láminas perpendiculares o paralelas al plano de flexión, siendo mayor la resistencia en el primer caso. Aunque la sección rectangular es la más común, pueden fácilmente lograrse secciones I, T y otras. Además pueden combinarse elementos de madera laminada con placas de triplay para formar distintos tipos de secciones compuestas. En algunos países se fabrican series de

diversos tipos de secciones estandarizadas.

Entre las ventajas de la madera laminada pueden citarse las siguientes:

i) Pueden utilizarse piezas pequeñas de madera de grados inferiores en la construcción de grandes miembros estructurales. Se han construido estructuras de más de 100 metros de claro.

ii) Se pueden hacer miembros curvos y miembros de peralte variable.

iii) La madera de calidad más resistente puede colocarse en aquellas partes del miembro donde los esfuerzos sean críticos, y la de calidad inferior, en donde los esfuerzos sean menores.

iv) Un miembro laminado, de gran sección transversal, resiste mejor el fuego que un tipo de construcción en el que se depende de piezas pequeñas separadas.

v) En el diseño de elementos laminados se suelen admitir esfuerzos permisibles mayores que para elementos macizos porque: a) se cuenta con una mayor uniformidad gracias a la selección de las tablas utilizadas, b) existe una mayor dispersión en los defectos naturales, c) el secado es uniforme y completo gracias al pequeño espesor de las tablas.

Al escoger el adhesivo o la cola para formar los miembros laminados deben tenerse en cuenta las condiciones de servicio en que se encontrarán. Si los miembros van a estar expuestos a un ambiente húmedo debe usarse un adhesivo resistente a la humedad, como el resorcinol-formaldehido u otras resinas sintéticas semejantes. Para miembros protegidos de la intemperie puede utilizarse la caseína. La urea suele prohibirse como adhesivo por su comportamiento poco satisfactorio en cuanto a durabilidad.

3.5 Madera contrachapada (triplay)

La madera contrachapada o triplay está formada por un número impar de capas delgadas de madera, generalmente 3, 5 ó 7, pegadas de manera que las fibras de cada capa quedan normales con respecto a las de las fibras de las capas contiguas.

Generalmente el triplay se suministra en placas de 4'x8', con espesores que varían entre 5/16" y 1-1/8". En algunos casos se fabrican placas de 5' por longitudes diversas.

Al combinar las capas que forman el triplay de manera que las fibras de las diversas capas sean normales entre sí, se obtiene un material prácticamente isótropo en el plano, es decir, con características mecánicas análogas en las direcciones longitudinal y transversal. Por su naturaleza isótropa, el triplay es un material más ventajoso que la madera ordinaria en elementos sujetos a esfuerzos biaxiales como los que

se presentan en el alma de las vigas y en los diafragamas sometidos a fuerzas cortantes en su plano.

El triplay tiene aplicaciones estructurales diversas. Se utiliza con frecuencia en cimbras, donde es especialmente provechoso cuando se requiere formar superficies curvas. Se presta a la construcción de techos a base de placas plegadas u otros sistemas estructurales semejantes. En muchos países se emplea en paneles fabricados para viviendas. Combinándolo con piezas de madera ordinaria o laminada se pueden hacer vigas de distintos tipos, que alcanzan claros hasta de 10 metros. El triplay se utiliza en estos elementos como alma, cuya función principal es resistir las fuerzas cortantes. La liga entre los distintos elementos se logra por medio de clavos o cola, o combinaciones de ambos medios de unión.

3.6 Marcos rígidos y arcos

La técnica de la madera laminada ha hecho posible la construcción de marcos rígidos y arcos de formas muy variadas y de claros importantes.

3.7 Estructuras a base de lamelas

Los techos de lamelas están formados por piezas de madera, o "lamelas", relativamente cortas y de longitud uniforme. Las piezas se unen por medio de pernos, para formar cubiertas de formas diversas que pueden alcanzar claros considera-

bles. Las retículas de lamelas forman mmmm arcos de piezas que se arriostran las unas a las otras.

3.8 Materiales diversos derivados de la madera

Existe una multitud de productos derivados de la madera que tienen aplicaciones estructurales. Su interés es doble: permiten aprovechar los desperdicios de la madera y pueden diseñarse para que reunan propiedades específicas requeridas para determinada función estructural.

3.9 Paneles sandwich

Están formados por capas exteriores de un material resistente (triplay, láminas de derivados de la madera) y capas ligeras (poliestireno, poliuretano, papel con estructura de panal, etc.). Las capas exteriores proporcionan la resistencia y el material interior, el aislamiento.

4. CAMPOS DE APLICACION DE LA MADERA

4.1 Vivienda

4.2 La madera como auxiliar de la construcción

Cimbras, obras falsas, andamios, atagüías.

4.3 Puentes

Carreteros y de ferrocarril.

4.4 Pilotes

4.5 Durmientes

4.6 Estructuras eléctricas

4.7 Construcciones provisionales

Puentes y edificios provisionales.

4.8 Obras portuarias

4.9 Edificios diversos

REFERENCIAS

1. G. G. Sandström, "Man the Builder", McGraw Hill, Nueva York, 1970.

2. G. Torroja, "Razón y ser de los tipos estructurales", Instituto Técnico de la Construcción y del Cemento, Madrid, 1960.

3. F.A. Randall, "Historical Notes on Structural Safety", ACI Journal, oct 1973.

4. H. J. Hopkins, "A Span of Bridges", Nueva York, 1970.

5. Banister Fletcher, "A History of Architecture under the Comparative Method", 17th ed., The Athlone Press, Londres, 1967.

6. "Pile Foundations Know-How", American Wood Preservers Institute, Washington, 1969.

7. "Marina Design and Construction", Pressure-Treated Wood Industry, 1969.

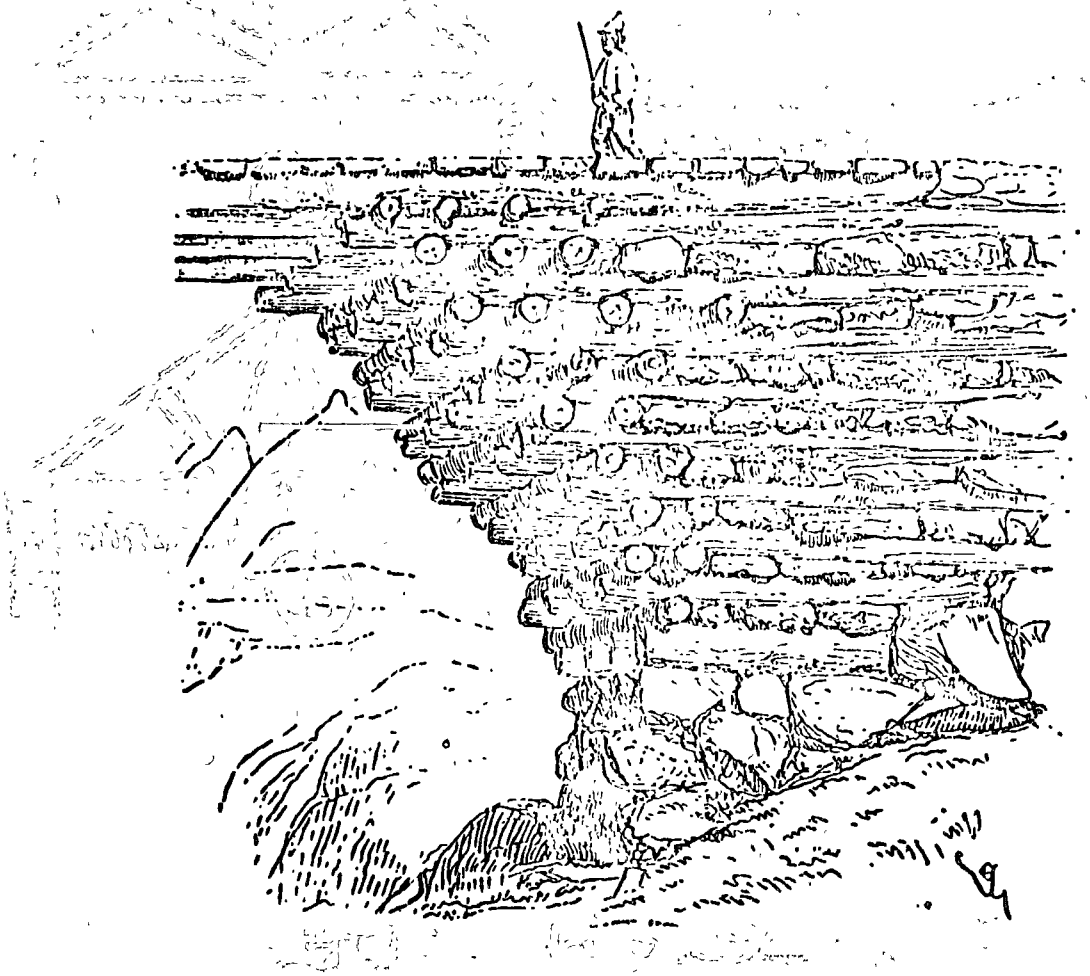
8. G. Gurfinkel, "Wood Engineering", Southern Forests Association, New Orleans, 1973.

9. H. J. Andrews, "An Introduction to Timber Engineering", Pergamon Press, Oxford, 1967.

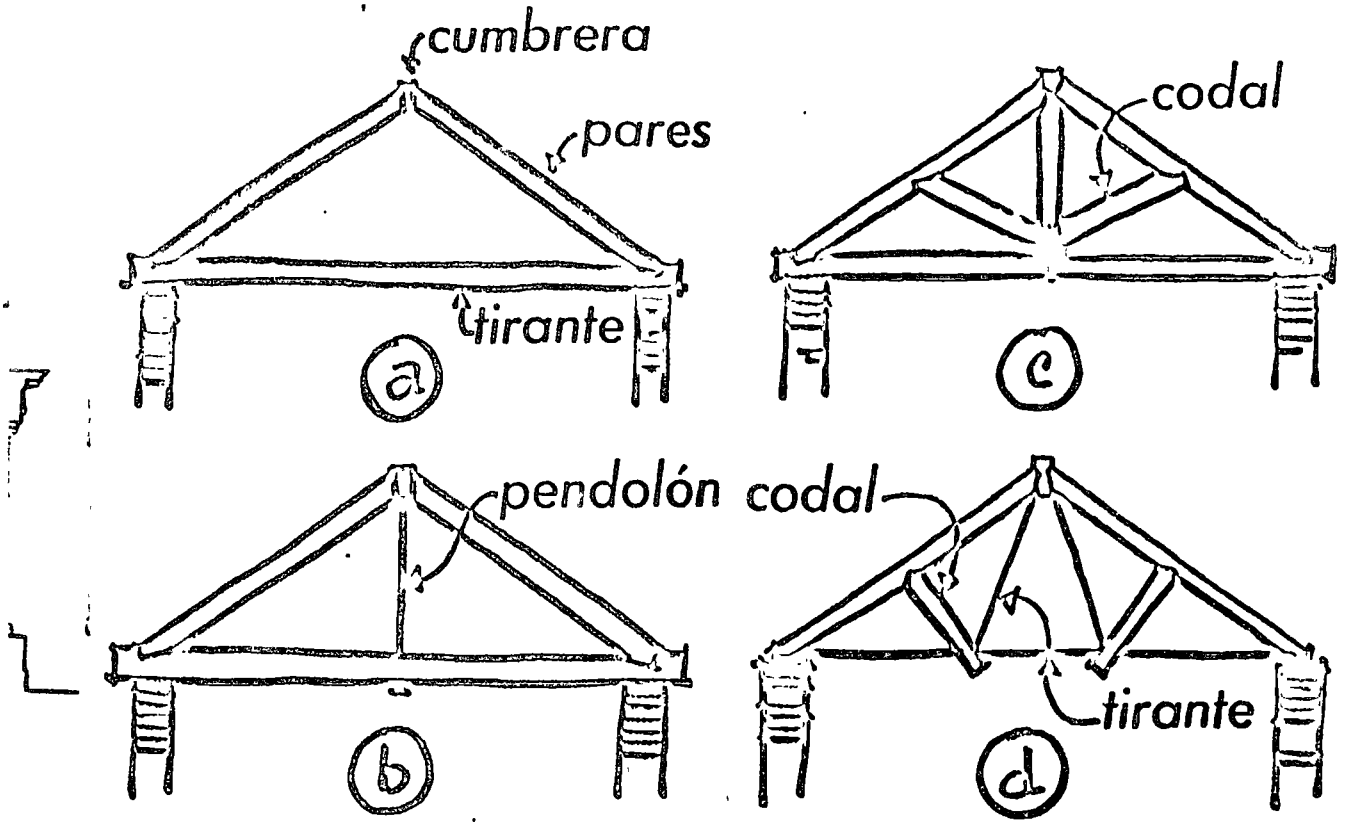
10. Timber Engineering Company, "Timber Design and Construction Handbook", McGraw Hill, Nueva York, 1956.

11. C. A. Chaney, "Marinas", National Association of Engine and Boat Manufacturers, Inc., Nueva York, 1961.

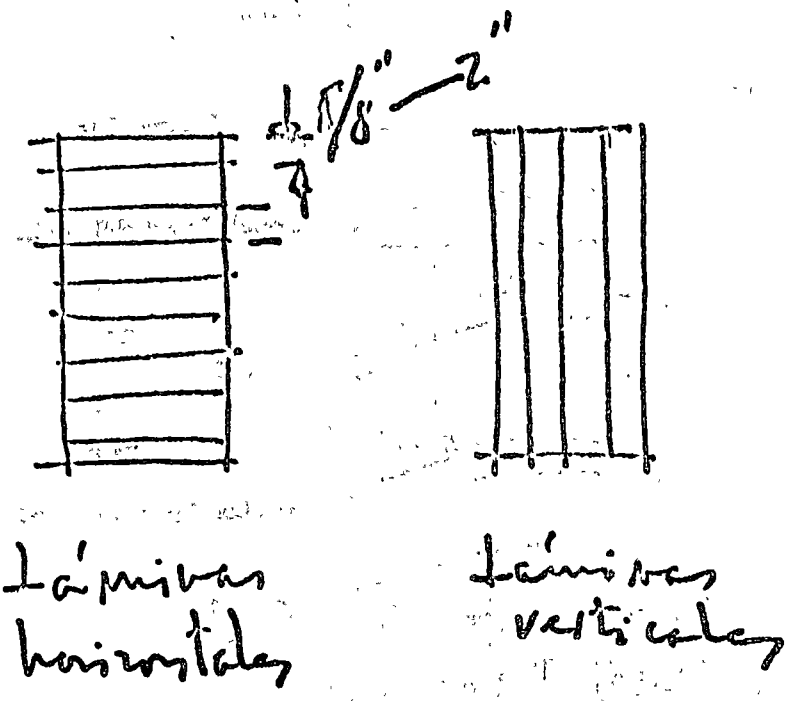
12. R. J. Hoyle, "Wood Technology in the Design of Structures", Mountain Press Publishing Co., Missoula, Montana, 1973.



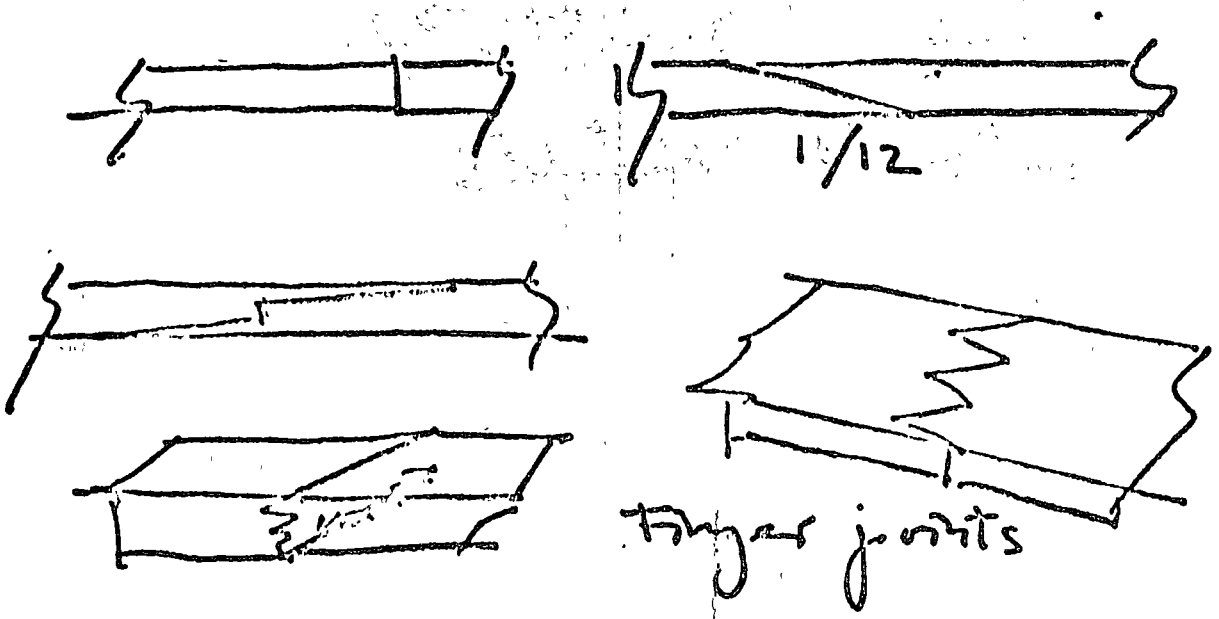
PUENTE GALO



EVOLUCION DE LA ARMADURA



MADERA LAMINADA



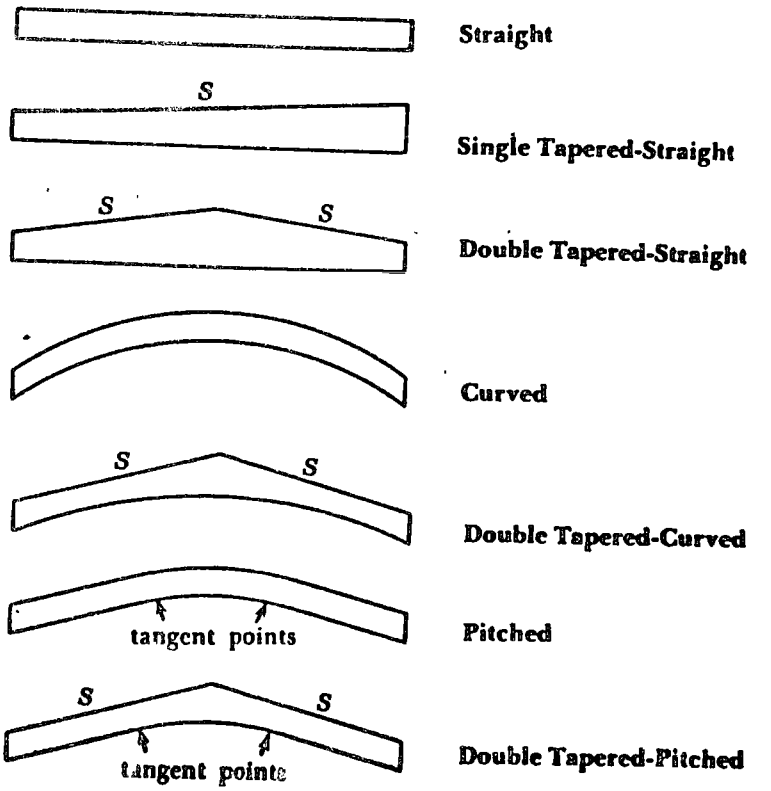
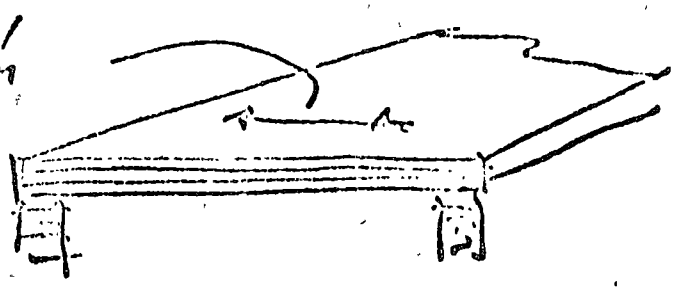


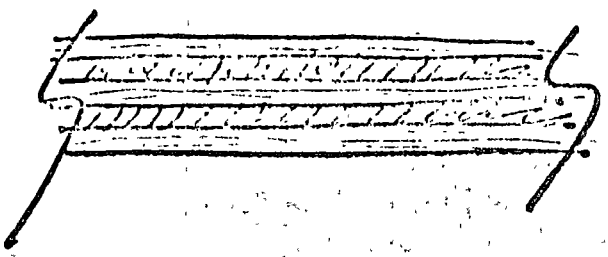
Figure 1.

TIPOS DE VIGAS DE MADERA LAMINADA

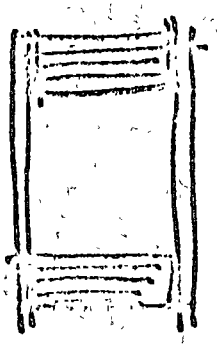
direction of fibers on cape support

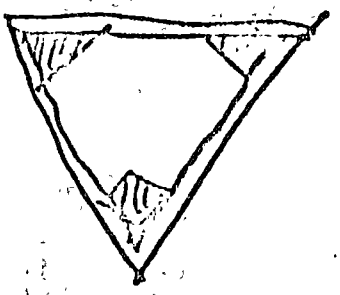


5

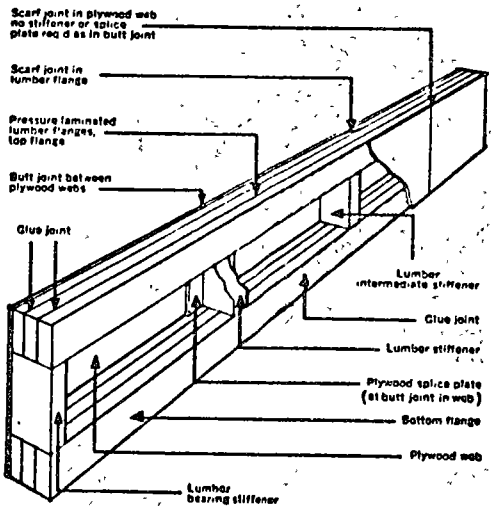


5/16" or 1/8 on 3, 5, 7 copies





TRIPLAY



typical cross sections showing beam types

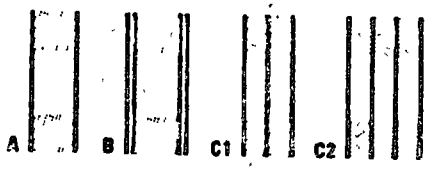
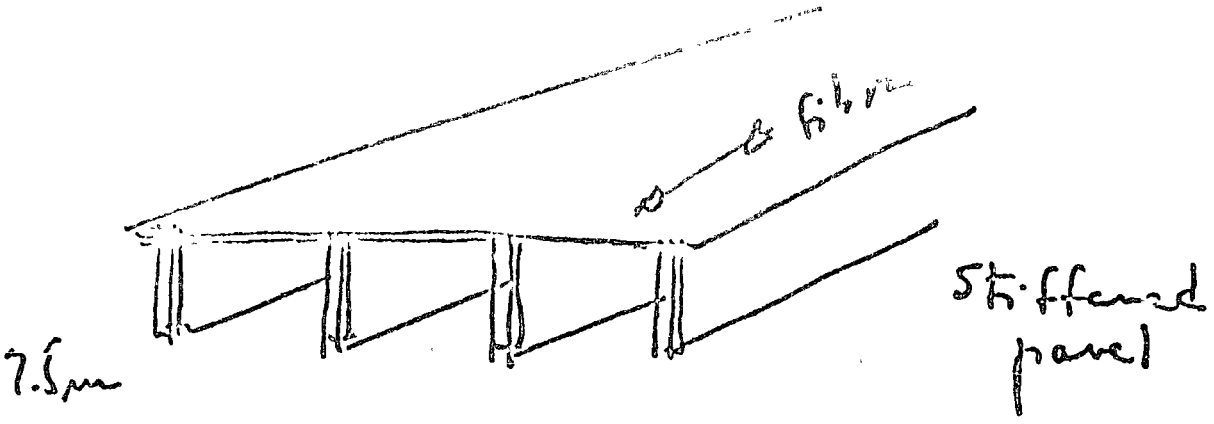
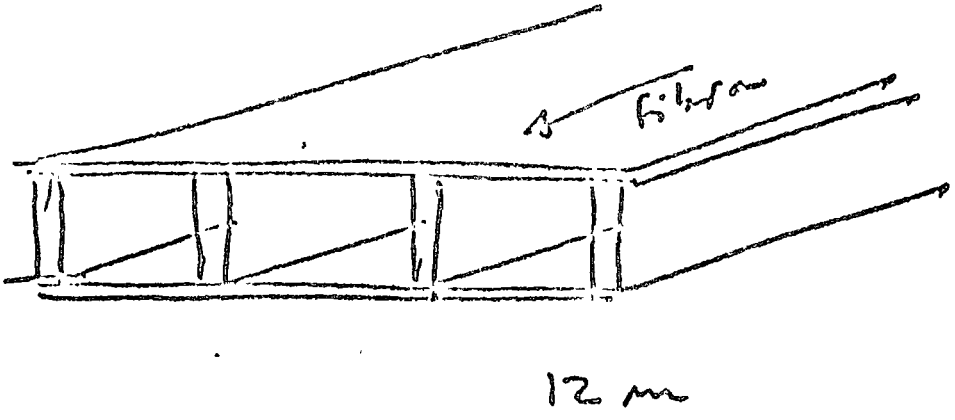
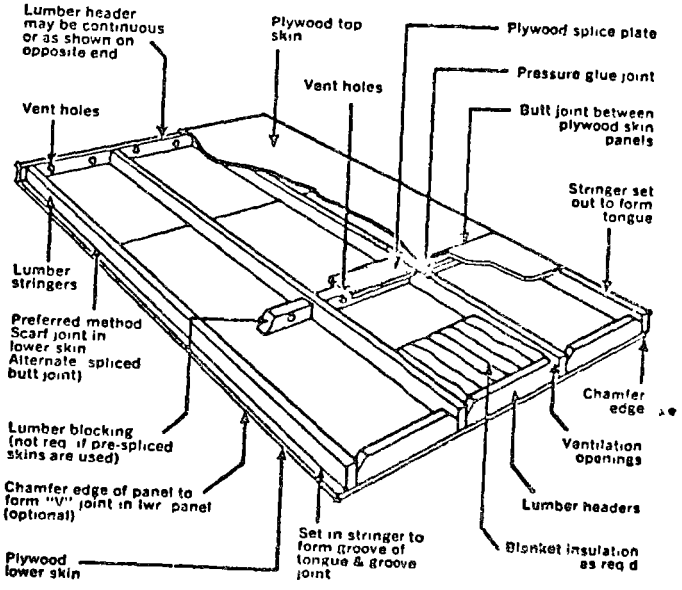


Figure 4.6—Box-Beam Using Plywood Webs. From Ref. 6.

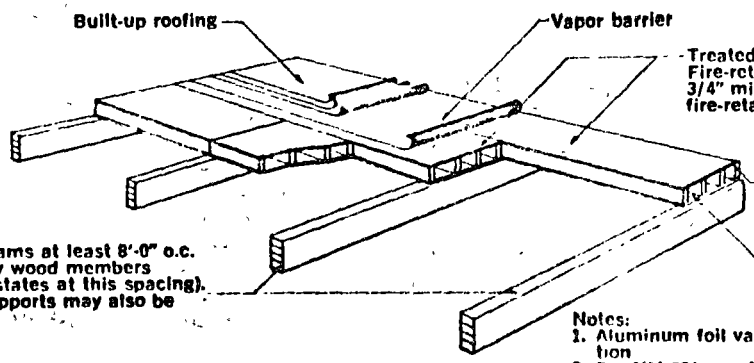




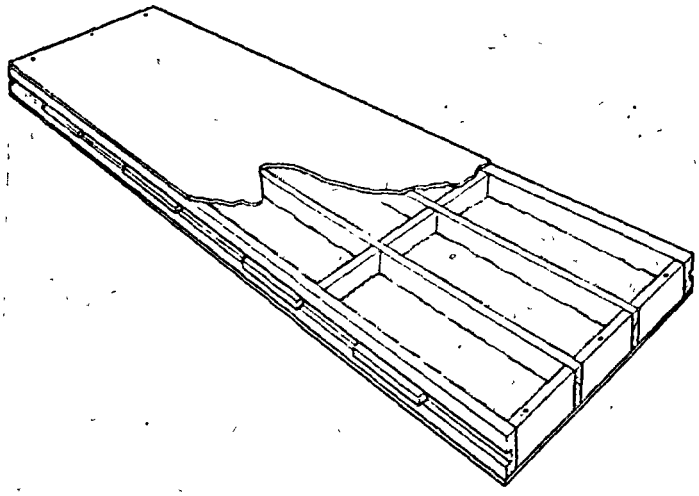


PANELES DE TRIPLAY

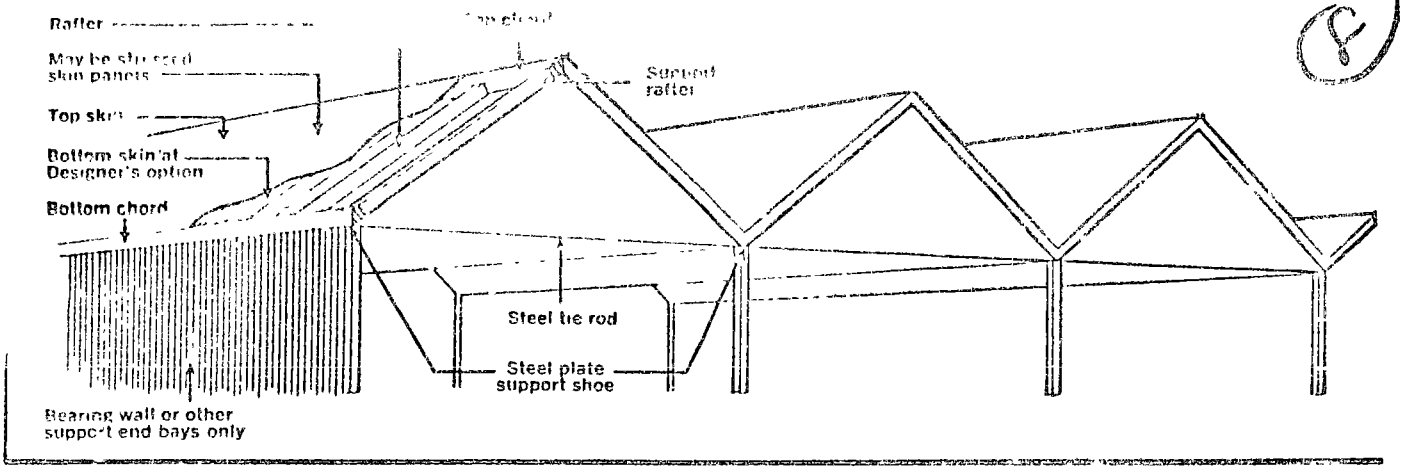
Fig. 20 – Treated stressed skin panel construction



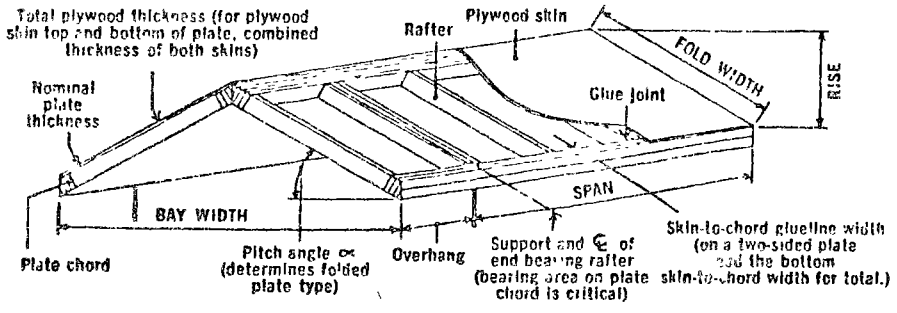
Notes:
1. Aluminum foil vapor barrier required only for NM 501 construction
2. For NM 501 construction, use tongue and groove plywood joints or treated blocking.
3. To assure proper fabrication of treated stressed skin panels, components bearing the trademark of the Plywood Fabricator Service, Inc. are recommended.

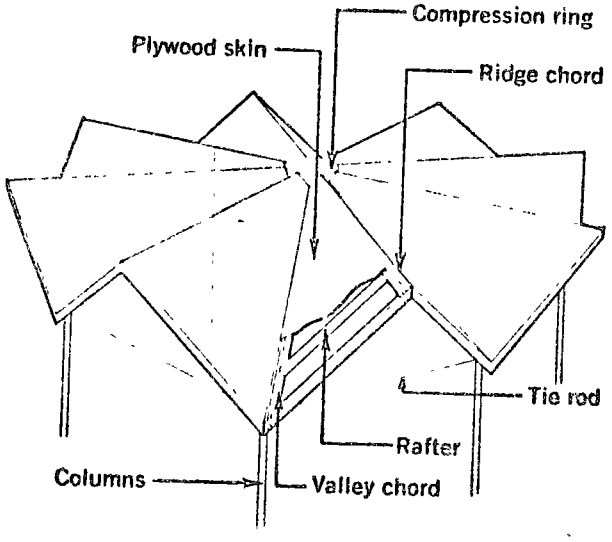


USO DE PANELES DE TRIPLAY

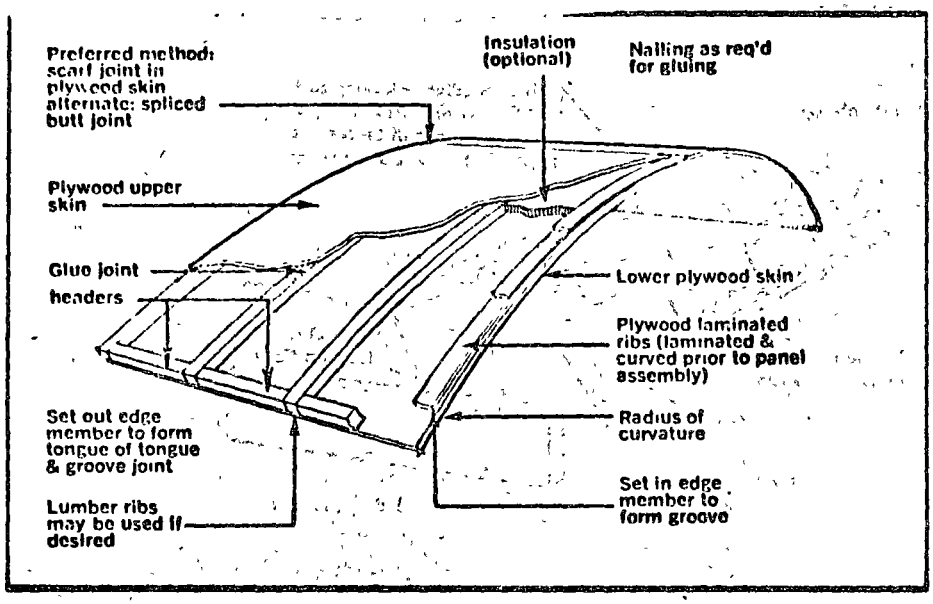


Glued plate construction—in-plant assembly

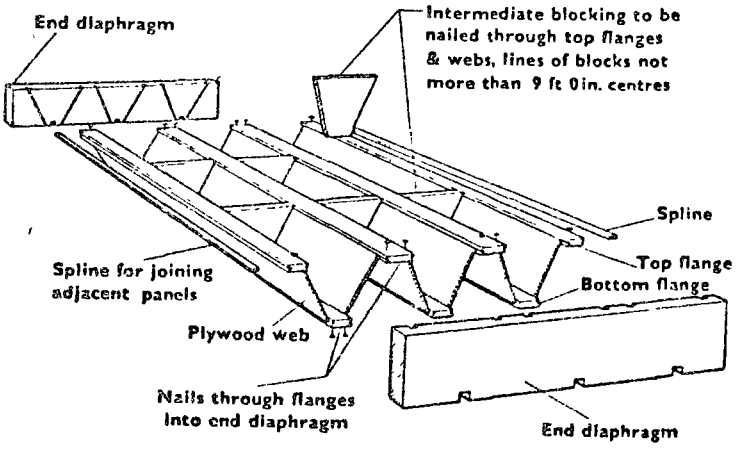




PLACAS PLEGADAS DE TRIPLAY



ELEMENTOS CURVOS DE TRIPLAY



SISTEMA DE PISO DE TRIPLAY PATENTADO

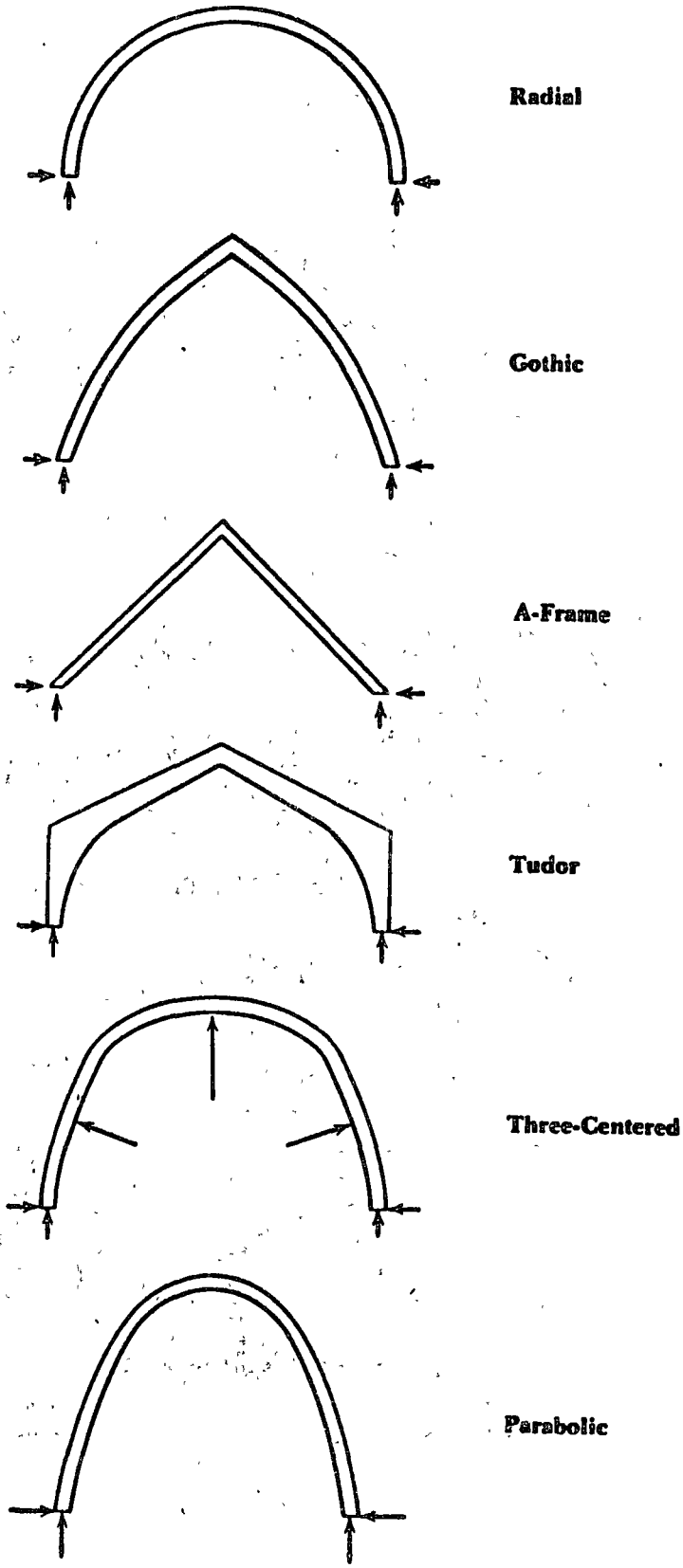


Figure 2.

ARCHS

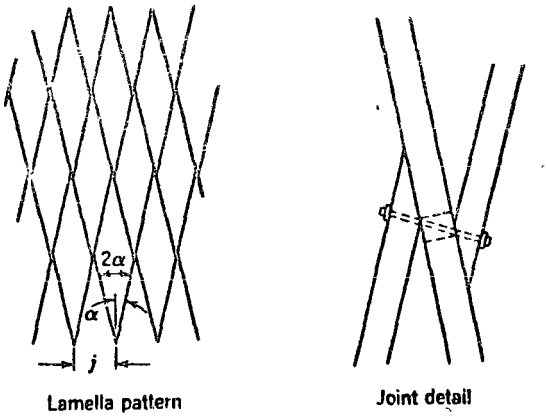
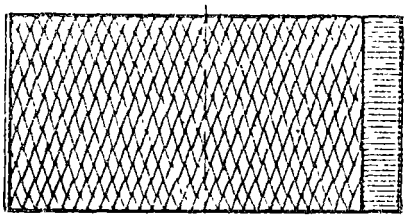


Figure 4.15. LAMELLA PATTERN AND JOINT DETAIL.



a. b.

Fig. 6.6 Lamella roof, continuous and raftered ends

a. Continuous
b. Raftered

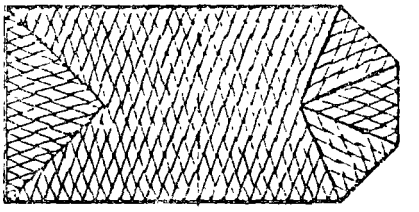


Fig. 6.7 Lamella roof, broached ends

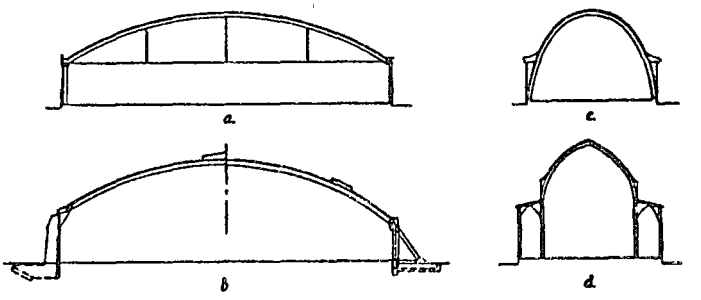
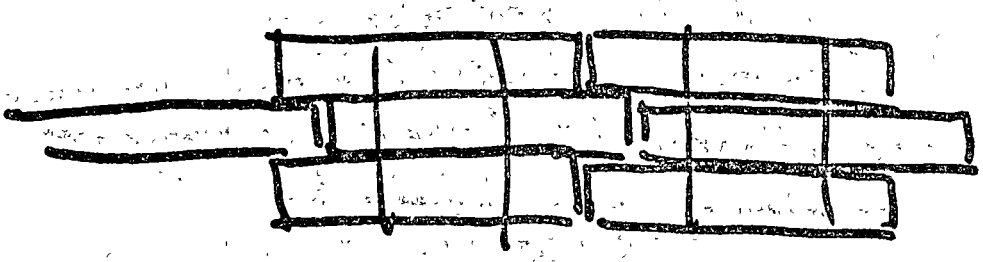


Fig. 6.4 Types of lamella roofs

a. Tied segmental arch
b. Buttress segmental arch
c. Parabolic arch
d. Gothic arch

TECHOS DE LAMELAS



ATAGUIAS
DE TRES
TABLONES

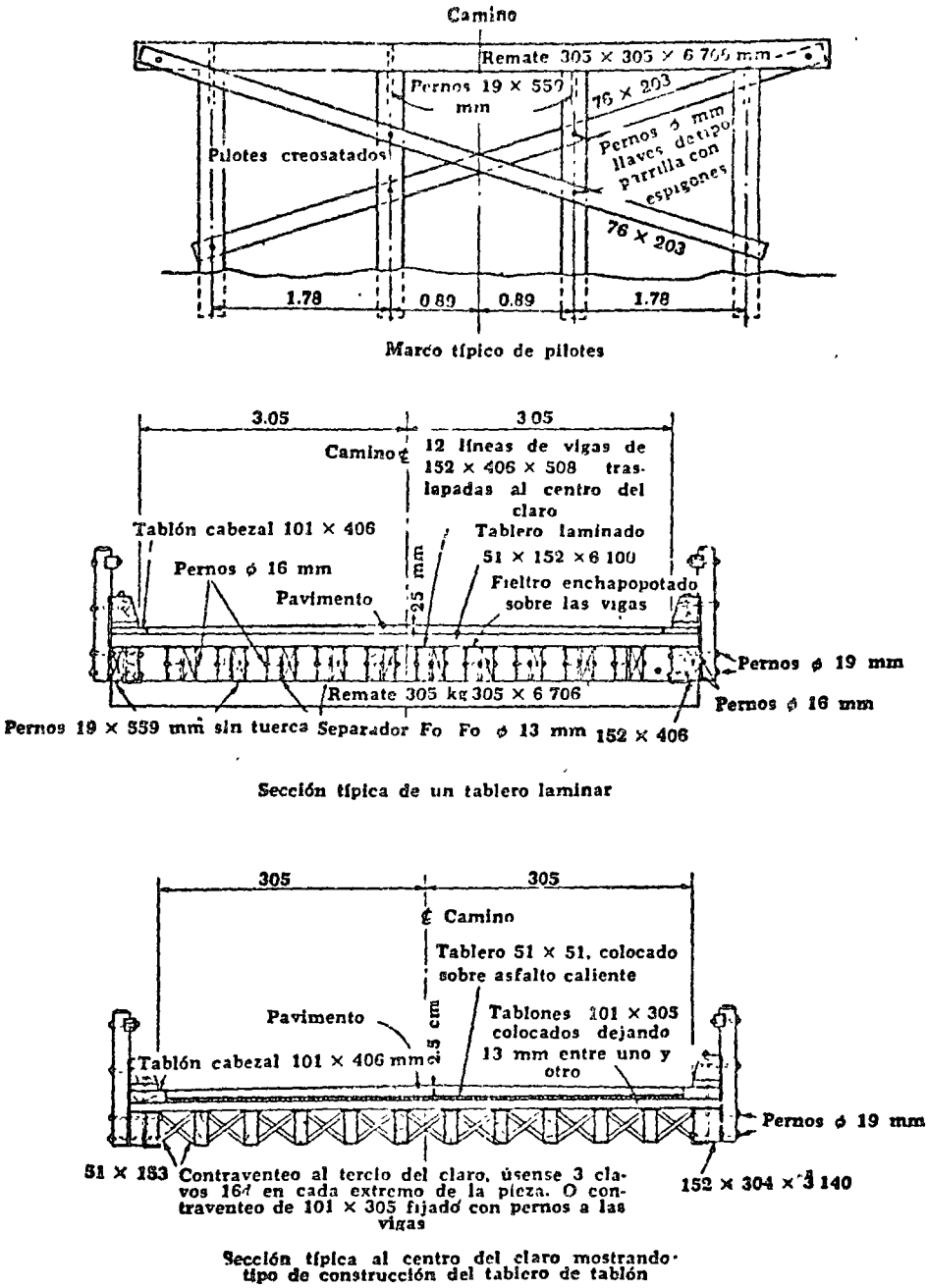


Fig. 110. Detalles de un puente sobre caballetes

PUENTES

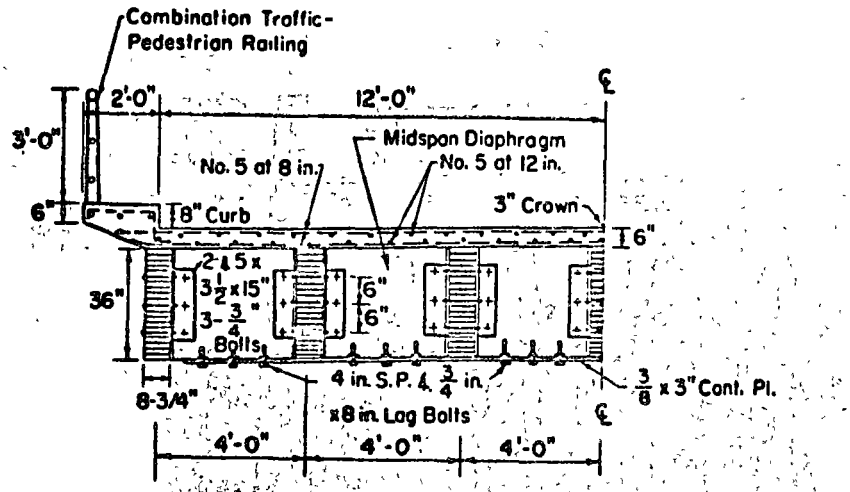


Figure 9.10—Transverse Semi-section of Composite Wood-Concrete Beam Bridge.

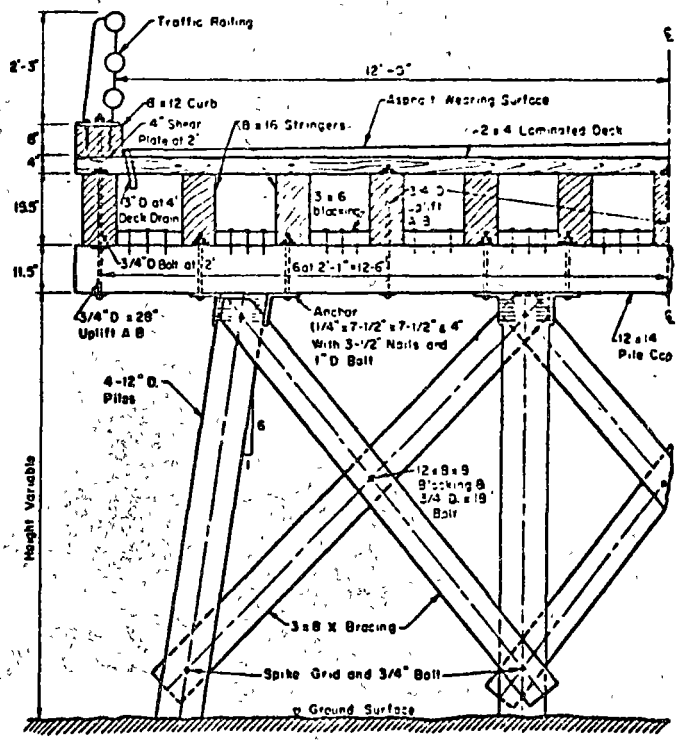
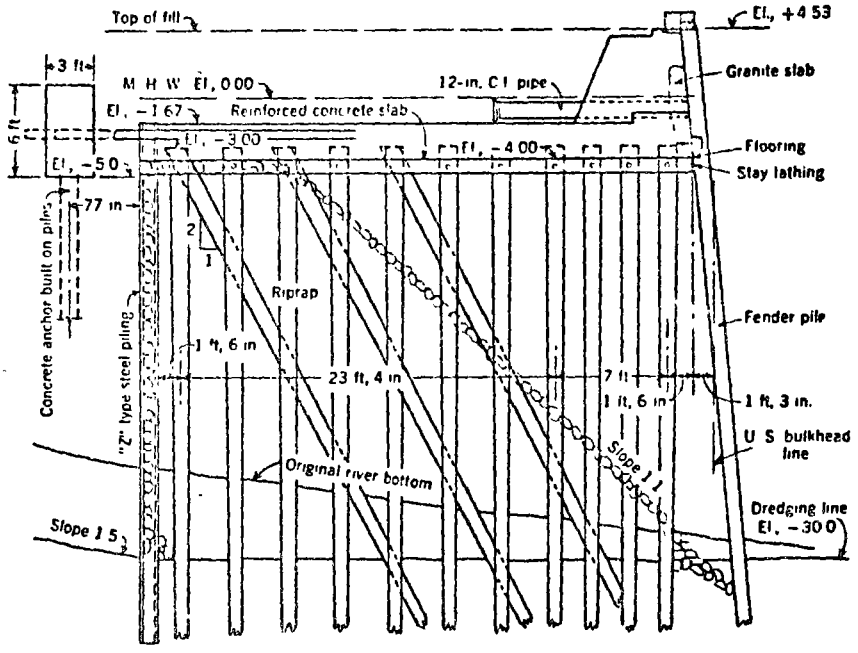
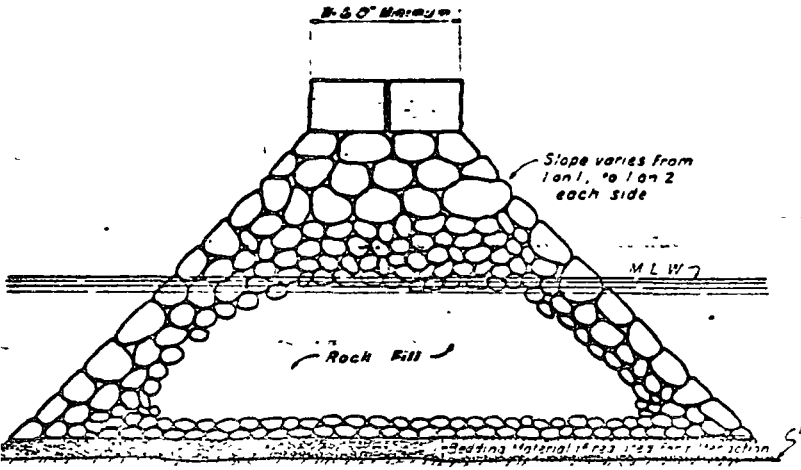


Figure 9.3—Transverse Section of Trestle.

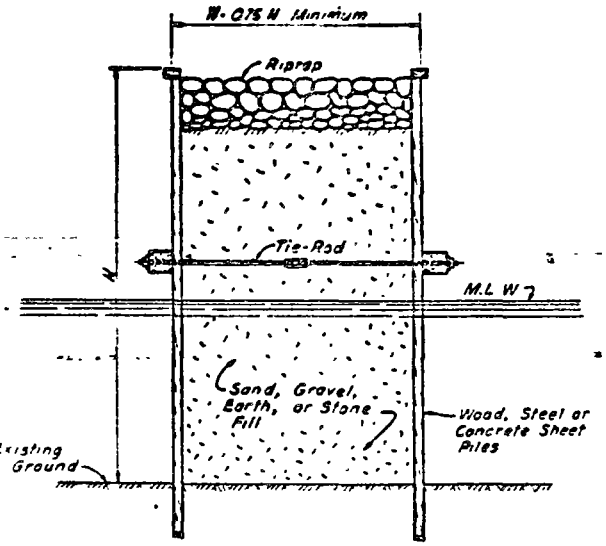
PUENTES



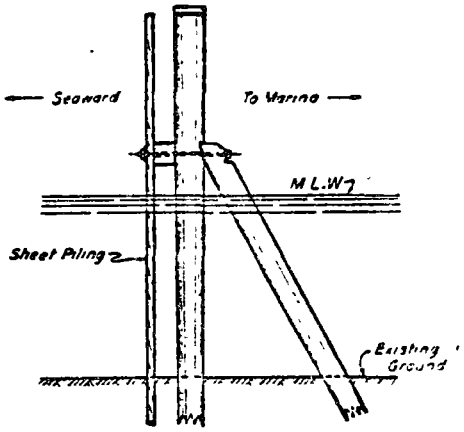
ESTRUCTURAS PORTUARIAS



TYPE "A"
RIPRAP MOUND

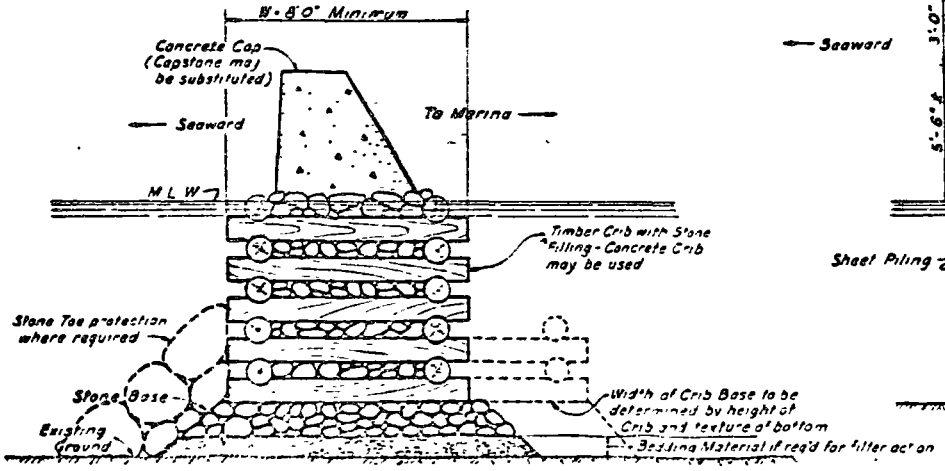


TYPE "B"
FILLED SHEET PILES

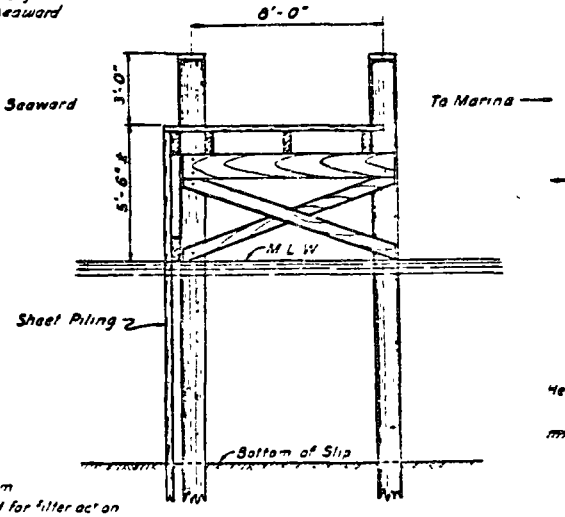


TYPE "C"
SINGLE ROW PILES - BRACED

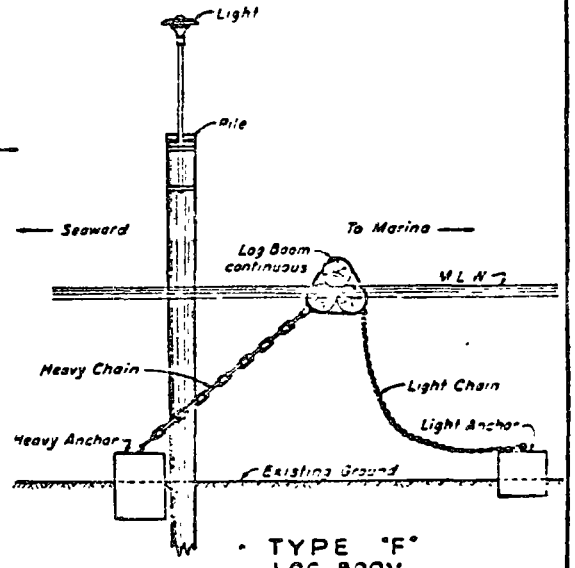
NOTE
Widths "W" for types A B and D. to be contingent upon gross heights "H" and the width of water seaward of wall



TYPE "D"
TIMBER CRIB WITH CONC. CAP



TYPE "E"
PIER WITH SHEET PILES



TYPE "F"
LOG BOOM

TYPICAL PLEASURE BOAT BASIN
BREAKWATER TYPES
SCALE NOT TO SCALE

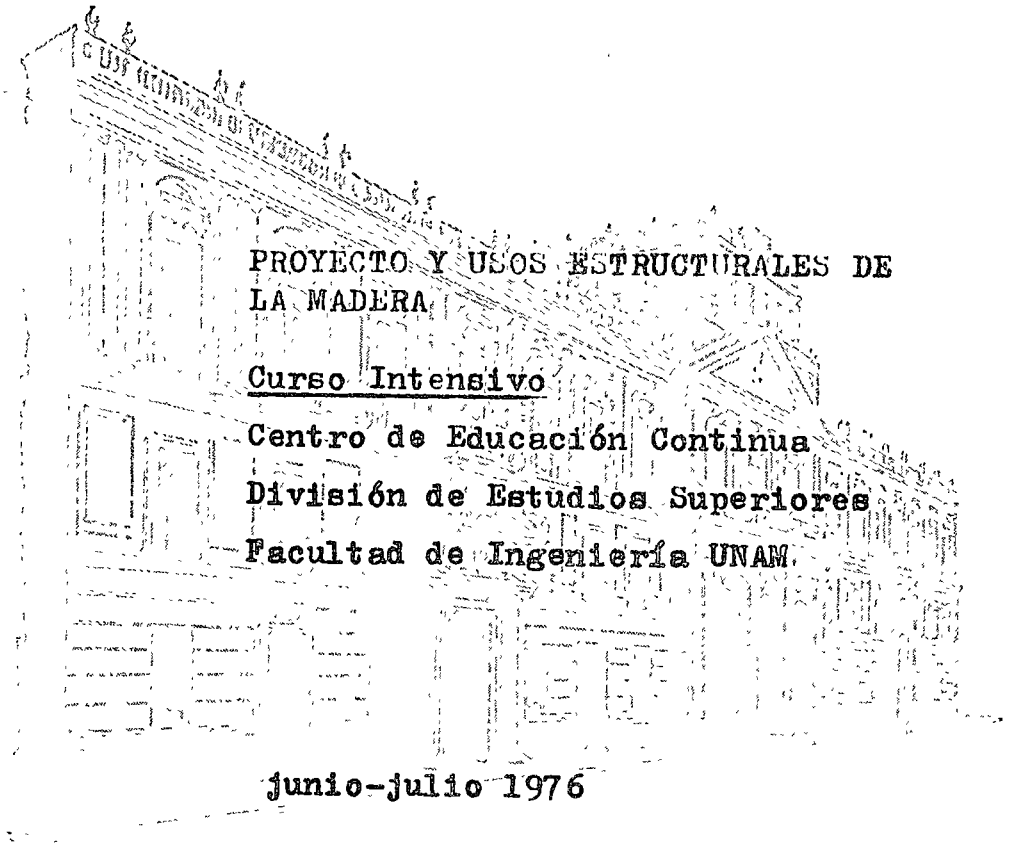
DRAWING NO 19

ESTUARY PORTUARIS

(1)

centro de educación continua
división de estudios superiores
facultad de ingeniería, unam

C I M B R A S



PROYECTO Y USOS ESTRUCTURALES DE LA MADERA

Curso Intensivo

Centro de Educación Continua
División de Estudios Superiores
Facultad de Ingeniería UNAM

junio-julio 1976

F. Robles
Universidad AutónomaMetropolitana

I N D I C E

Junio 1976

C I M B R A S

F. Robles
Universidad Autónoma Metropolitana

1. INTRODUCCION

De una manera general una cimbra# puede definirse como una estructura provisional cuya finalidad es soportar, durante su construcción, una estructura permanente hasta que ésta sea autosoportante. En las estructuras de concreto la cimbra debe soportar el concreto fresco, el refuerzo de acero y las cargas vivas de construcción (materiales, equipo y trabajadores). El término obra falsa se utiliza con sentido semejante al de cimbra aunque suele aplicarse más bien a las estructuras que soportan a los elementos que están en contacto directo con el concreto, dándole forma.

El diseño de la cimbra constituye un aspecto esencial de la construcción de una estructura de concreto, que influye importantemente en su costo total. El importe de la cimbra

---

En la literatura técnica en lengua inglesa se utilizan con un sentido análogo los términos formwork, forms, shuttering, centering y falsework.

rara vez es inferior al 25% de este costo total y en ocasiones llega a ser del orden de 50%.

La economía de una cimbra depende de diversos factores. Podría pensarse que uno de los principales es el empleo de la mínima cantidad dematerial que proporcione la resistencia necesaria para asegurar un grado de seguridad razonable. Sin embargo, aunque esto es una consideración de peso, es más importante lograr cimbras que permitan un número elevado de usos, aunque esto implique un consumo de material superior al estrictamente necesario desde el punto de vista de resistencia, con el fin de conseguir mayor durabilidad. El uso repetido de la cimbra se favorece disminuyendo el número de variaciones en las dimensiones de los elementos de la estructura de concreto. Así, es conveniente usar dimensiones de columnas y vigas ajustadas a las medidas de las maderas disponibles, estandarizar dimensiones y formas procurando que éstas sean sencillas, y escoger espaciamientos de columnas y alturas de entrepisos que faciliten el uso múltiple de moldes. El empleo de elementos de cimbra modulados y prefabricados que puedan utilizarse en estructuras diferentes es aconsejable. De gran importancia es prever detalles constructivos en la cimbra que permitan un fácil descimbrado. Otro factor que influye de manera significativa en el costo es la planeación del

uso de la cimbra. Aquí deben sopesarse las ventajas relativas de prever colados pequeños y un programa de trabajo largo, de cimbrar grandes porciones de la estructura de una vez, o de recurrir a procedimientos que permitan un descimbrado rápido, tales como el uso de cementos de resistencia rápida, aceleran-tes o curado con vapor.

En el diseño de cimbras intervienen otras consideraciones además de las estrictamente económicas. Una es la seguridad. La falla de una cimbra puede ocasionar graves pérdidas econó-micas y de vidas humanas. Desgraciadamente estas fallas son relativamente frecuentes. Se deben unas veces a defectos de construcción y otras a errores de diseño. Las causas más comu-nes de fallas pueden resumirse como sigue:

i) Descimbrado prematuro.

ii) Espaciamiento excesivo de soportes verticales.

iii) Insuficiente rigidización para fuerzas horizonta-les debidas a cargas accidentales o a maniobras propias del proceso constructivo. (Conviene no escatimar el uso de diagonales para lograr trian-gulaciones, combinando éstas con un arriostra-miento horizontal.)

iv) Falta de verticalidad de los elementos de apoyo verticales.

v) Falta de apoyos adecuados sobre el terreno.

vi) Excesiva rapidez de colocación del concreto, dando origen a empujes laterales superiores a los previstos en el diseño.

vii) Detalles incorrectos (clavos insuficientes, etc.).

Para disminuir el riesgo de fallas es recomendable mantener una supervisión competente durante el proceso de construcción de la cimbra y durante el colado del concreto. En edificios de varios pisos una medida útil consiste en colar las columnas por lo menos un día antes que la losa que soportan. La resistencia que adquieren las columnas contribuye a la resistencia general del sistema de cimbra.

Por último, en el diseño de cimbras debe tenerse en cuenta la calidad deseada en la estructura de concreto terminada en cuanto a las tolerancias en medidas, niveles y verticalidad y en cuanto al tipo de acabado superficial deseado.

De las breves consideraciones introductorias anteriores se deduce que el diseño adecuado de una cimbra requiere la aplicación de principios tecnológicos combinada con habilidades de tipo artesanal.

Generalmente el diseño de la cimbra lo realiza el constructor de la obra. Cuando se trata de obras de tipo rutinario el diseño lo lleva a cabo un carpintero con experiencia adecuada.

En obras de importancia es recomendable la intervención activa de un ingeniero. En algunos casos el proyectista de las estructuras de concreto es el que define las características de la cimbra a utilizar. Siempre es útil que en el diseño de la estructura de concreto se tengan en cuenta los problemas de cimbrado. Los mejores resultados se obtienen cuando el constructor puede colaborar con el arquitecto y el proyectista estructural en el diseño de la cimbra.

Para terminar estos comentarios introductorios, los requisitos que deben reunir las cimbras pueden resumirse como sigue:

i) Asegurar el logro de las dimensiones de la estructura dentro de tolerancias prestablecidas.

ii) Garantizar resistencia y rigidez adecuadas.

iii) Garantizar la seguridad de los trabajadores y de la estructura misma.

iv) Permitir usos repetidos.

v) Lograr el mínimo costo compatible con la seguridad y la calidad (economía).

Las referencias 1 y 2 son dos textos de gran utilidad para el proyectista y el constructor de cimbras. En la referencia 3 se presentan en forma gráfica gran número de detalles constructivos útiles.

2. MATERIALES

No obstante que en los últimos años se ha extendido considerablemente el uso de elementos metálicos o de plásticos para cimbrar, la madera sigue siendo el material predominante.

Estas notas se refieren exclusivamente a la madera como material para cimbras y a los elementos auxiliares que su uso implica. Se presentan únicamente algunas observaciones de carácter general.

2.1 Maderas

Es recomendable evitar el uso de madera verde porque puede alabearse al secarse durante tiempo caluroso, así como el de madera muy seca, que puede hincharse con la humedad.

Al comprar madera debe indicarse qué caras deben ir cepilladas y deben escogerse las dimensiones que menos desperdicio impliquen según las características geométricas de las obras. La duela machihembrada debe utilizarse cuando el tipo de acabado especificado exija impermeabilidad de la cimbra.

Para lograr una durabilidad razonable las cimbras de madera deben protegerse con aceites, diesel o materiales protectores especiales.

Una modalidad de la madera de uso cada vez más frecuente en la construcción de cimbras es el triplay. Debidamente tratado con resinas fenólicas o epóxicas, fibra de vibrio u otros productos pueden lograrse de 50 a 200 usos. Es aconsejable sellar los cantos con productos como los mencionados ya que es en los cantos donde el triplay empieza a deteriorarse. Los espesores usuales de las placas son 5/8" y 3/4". Las superficies demasiado lisas deben evitarse porque propician agrietamiento superficial ("crazing").

Al diseñar cimbras de triplay conviene tener en cuenta que las placas de triplay pueden trabajar en dos sentidos de manera que conviene apoyarlas en sus cuatro lados.

2.2 Clavos

Debe evitarse usar tanto demasiados clavos como clavos demasiado grandes. De preferencia debe tenderse a usar clavos de diámetro pequeño. Los clavos de doble cabeza facilitan el descimbrado. En general el clavado debe ser tal que las operaciones de descimbrado sean fáciles.

2.3 Accesorios diversos

En las figuras 1 y 2 se muestran diversos tipos de

accesorios utilizados en la fabricación de cimbras.

2.4 Elementos prefabricados

La utilización de elementos prefabricados estandar en muchas situaciones puede aportar ventajas económicas. En muchos países pueden conseguirse en el mercado diversos tipos de paneles o tableros prefabricados diseñados de manera que soporten un elevado número de usos. En México esto todavía no es una práctica usual. Sin embrago sí es común el uso de paneles rudimentarios fabricados con madera de desecho procedente de cimbras que han dejado de ser aprovechables en su forma original.

3. DISEÑO

3.1 Consideraciones generales

Como en el caso de cualquier otra estructura, al diseñar una cimbra el proyectista sigue un proceso que se inicia con la identificación y planteo del problema, determinando las restricciones existentes en cuanto a materiales, personal y equipo disponibles y en cuanto a la secuela constructiva impuesta por las características del edificio en cuestión; continua con el análisis y la comparación técnica y económica de las alternativas posibles, y termina con la elección de la alternativa óptima, el diseño detallado de esta alternativa y la elaboración de los planos y especificaciones necesarios para la construcción.

Al diseñar la cimbra el proyectista persigue los siguientes objetivos generales, que tienden a lograr una solución económica:

i) Aprovechamiento óptimo de las escuadrías disponibles en el mercado.

ii) Aprovechamiento óptimo de la resistencia de los

distintos elementos de la cimbra. (Diseño balanceado.)

iii) Modulación de los elementos de cimbra.

iv) Fácil uso múltiple.

v) Mano de obra mínima.

vi) Facilidad de descimbrado.

vii) Sencillez constructiva.

El grado de precisión con que se dimensiona una estructura debe ser congruente con las incertidumbres en las características de los materiales y las magnitudes de las cargas. En las cimbras estas incertidumbres son considerables de manera que, por lo general, no se justifica un gran refinamiento en el cálculo. Por otra parte, como ya se indicó anteriormente, en el diseño de cimbras es frecuente que rijan consideraciones ajenas a la resistencia. Es entonces usual recurrir a simplificaciones como las siguientes:

i) Suponer que las cargas están uniformemente distribuidas aun cuando estoa no sea rigurosamente cierto.

ii) Considerar que las vigas apoyadas sobre más de tres apoyos son continuas y utilizar fórmulas aproximadas (figura 3).

iii) Calcular las vigas continuas de dos claros como vigas libremente apoyadas.

Una vez planteada una alternativa estructural el diseño de los componentes estructurales correspondientes implica los siguientes aspectos:

i) Determinación de las fuerzas o cargas que actuan sobre la cimbra.

ii) Análisis de los efectos de estas fuerzas sobre la estructura de la cimbra. (Determinación de acciones internas: cargas axiales, momentos, fuerzas cortantes.)

iii) Dimensionamiento de los componentes de manera que se garantice una seguridad razonable y un comportamiento adecuado. Esto implica la elección de dimensiones de manera que no se excedan los esfuerzos que se consideren permisibles en diversas condiciones, y la revisión de deflexiones de manera que no se excedan las que se consideren tolerables.

En los incisos que siguen se hacen algunos comentarios sobre las cargas, los esfuerzos permisibles y las deflexiones admisibles en el diseño de cimbras.

3.2 Cargas

3.2.1 Cargas verticales

Carga muerta

La carga muerta debida a la cimbra puede variar de 15 a

75 kg/m2 según el tipo de estructura cimbrada. La debida al peso del concreto fresco más el refuerzo puede calcularse suponiendo un peso volumétrico de 2.4 ton/m3.

Carga viva

Según el American Concrete Institute la carga viva de trabajadores, tendidos y equipo puede considerarse suponiendo una carga uniforme de 250 kg/m2. Si se utiliza equipo motorizado de transporte este valor debe incrementarse a 370 kg/m2. Para el caso particular de pies derechos se recomienda que la carga total nunca sea inferior a 500 kg/m2.

Según otro criterio, la carga viva puede suponerse equivalente a una carga viva uniforme de 100 kg/m2 más una carga concentrada de 100 kg, aplicada en cualquier punto de la cimbra.

Cargas sobre pies derechos en edificios de varios pisos

Al determinar el número de pisos que deben apuntalarse deben tenerse en cuenta los siguientes factores:

i) La capacidad de carga del sistema de piso.

ii) La carga muerta del concreto y la cimbra.

iii) La carga viva de construcción.

iv) La resistencia del concreto en el momento en que se le aplican las cargas.

Cuando se requiere un ritmo de construcción rápido,

el Comité 347 del American Concrete Institute recomienda que los pies derechos se diseñen para soportat por lo menos 1.5 veces las cargas permanentes y de construcción de un piso dado.

3.2.2 Presión lateral del concreto fresco

Cuando el concreto se coloca en las cimbras se encuentra en estado plástico y ejerce una presión sobre los lados de los moldes semejante a la de un líquido de densidad alta. A medida que el concreto endurece estos empujes horizontales van disminuyendo hasta desaparecer.

La presión lateral del concreto fresco depende esencialmente de los factores siguientes:

i) Peso del concreto.

ii) Rapidez de colocación.

iii) Vibrado. (Aumenta la presión localmente en 10-20 % respecto a otros métodos de colocación.)

iv) Temperatura.

El Comité 347 del American Concrete Institute ha propuesto reglas empíricas para estimar el empuje lateral del concreto fresco. Estas reglas son aplicables para concreto ordinario con un peso volumétrico de 2.2 ton/m3 (150 lb/ft3), un revenimiento inferior a 4" y vibrado interior a una profindidad inferior a 4'. Están en función de las siguientes variables.

p= presión lateral máxima en libras por pie cuadrado

R = rapidez de colocación en pies por hora

T = temperatura del concreto en grados Fahrenheit

h = altura máxima del concreto en el molde.

Para <u>muros</u>:

Si $R \leq 7$ ft/hr

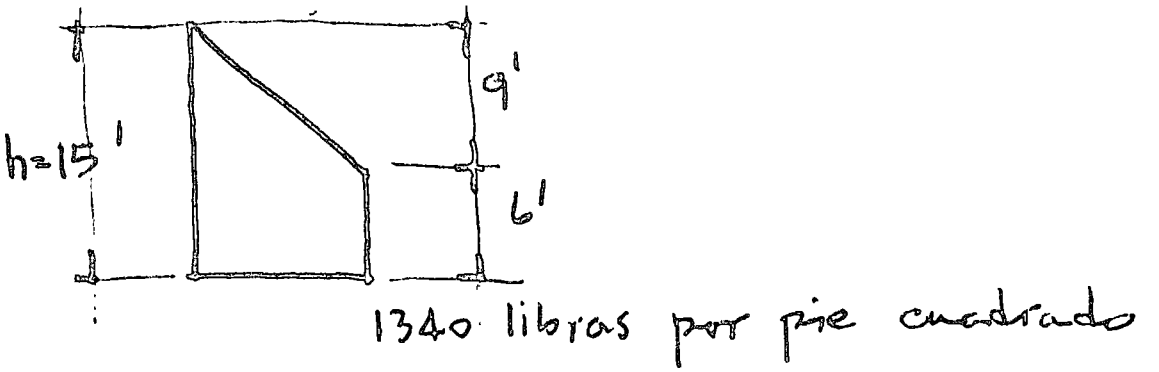
$$p = 150 + \frac{9000R}{T} \qquad (1)$$

Si $R > 7$ ft/hr

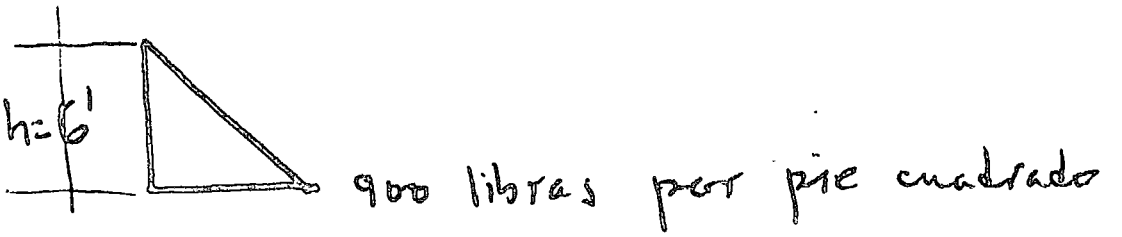
$$p = 150 + \frac{43400}{T} + \frac{2800R}{T} \qquad (2)$$

Al utilizar estas fórmulas debe tenerse en cuenta que p no debe exceder del menor de los siguientes dos valores: 2000 libras por pie cuadrado o 150 h.

Considérese por ejemplo una cimbra para un muro con una altura de 15 ft, en el que se va a depositar concreto con una velocidad R = 10 ft/hora, siendo la temperatura T = 90°F. La presión máxima según la ecuación (2) es 1340 libras por pie cuadrado. Puesto que se supone que hasta que se alcanza este valor el concreto ejerce una presión análoga a la de un líquido con un peso volumétrico de 150 lb/ft3 (el peso volumétrico del concreto ordinario), la profundidad a la que se presenta dicho valor máximo puede obtenerse dividiendo 1340 entre 150, lo que da 9 pies. De este nivel para abajo se supone que la presión permanece constante como se indica en el croquis.



En el caso de una cimbra para un muro de sólo seis pies de altura, colado con una rapidez R = 10 pies por hora a una temperatura de 60°F, rige el límite de 150 h puesto que da un valor menor que el que resulta de aplicar la fórmula. El diagrama de presiones correspondiente será el dado por el siguiente croquis:



Para <u>columnas</u>:

$$p = 150 + \frac{9000R}{T} \qquad (3)$$

En este caso el valor máximo que puede asignarse a p no debe exceder del menor de los siguientes dos valores: 3000 libras por pie cuadrado o 150 h.

3.2.3 <u>Fuerzas horizontales</u>

Las fuerzas horizontales a las que pueden estar expues-

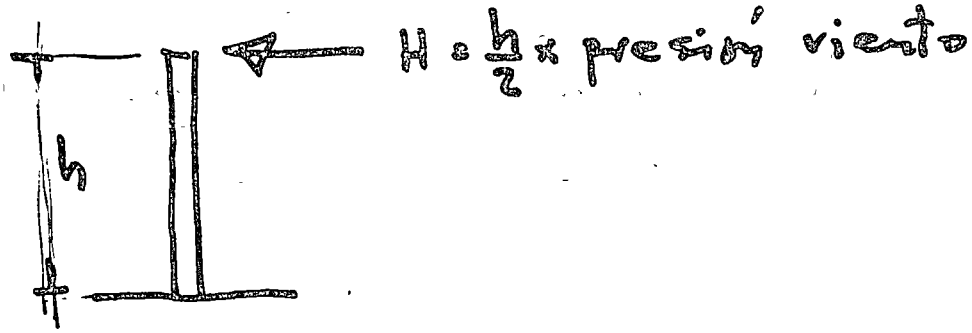
las cimbras se deben al viento, los sismos, el movimiento del equipo para el transporte del concreto o a la falta de verticalidad de los soportes verticales. En la referencia 1 se dan algunas recomendaciones sobre la manera de tener en cuenta estas fuerzas de una manera aproximada.

Para cimbras de losas la referencia citada indica que se tome el mayor de los siguientes valores:

a) 100 libras por pie lineal del lado de la losa

b) 2 % de la carga muerta total, distribuida como carga uniforme a lo largo del lado de la losa

Para muros se considera que la fuerza lateral predominante es el viento que se supone produce una presión de 100 libras por pie cuadrado, si no se tiene mejor información. La cimbra debe diseñarse de manera que soporte una fuerza H aplicada en la parte superior igual a h/2 x presión del viento. La fuerza calculada en esta forma no debe ser inferior a 100 libras por pie lineal.



3.4 Esfuerzos permisibles para la madera

Según recomendaciones del Comité 347 del American Concrete Institute, en el diseño de cimbras que se van a usar un número reducido de veces pueden emplearse los esfuerzos permisibles dados por los reglamentos para estructuras provisionales o para cargas de corta duración. Cuando se prevé un número elevado de usos la cimbra debe diseñarse como una estructura permanente.

3.5 Deflexiones y contraflechas

Una limitación usual consiste en especificar que las deflexiones calculadas no excedan de L/300 a L/500, siendo L la longitud del claro del elemento. Otra manera de limitar la flecha consiste en especificarque en el caso de forros no excedan de 1/16" y en el de otros elementos, de 1/8" a 1/4".

Al calcular las flechas de elementos que se van a humedecer durante el colado, deben usarse valores reducidos del módulo de elasticidad. Las reducciones usuales son del orden de 5 %.

Por otra parte al construir la cimbra debe tenerse en cuenta que antes de colar es necesario ajustar los niveles para prever:

a) las deformaciones y asentamientos de la cimbra

b) las deformaciones instantáneas y diferidas

de la estructura cargada

c) la deformación óptica de miembros perfectamente horizontales

Estos ajustes reciben el nombre de contraflechas. Una regla empírica para establecer la contraflecha conveniente indica que ésta puede estimarse en 1/4" por cada 10 pies de claro. Otra regla recomienda que la contraflecha sea del orden de L/200 a L/400 siendo L la longitud del claro.

4. CIMBRAS PARA DIVERSOS TIPOS DE ELEMENTOS

4.1 Cimbras para zapatas y trabes de cimentación

Ver figs 4-8.

4.2 Cimbras para muros

Ver figs 9-11.

4.3 Cimbras para columnas

Ver figs 12-16.

4.4 Cimbras para vigas

Ver figs 17-20.

4.5 Cimbras para losas

Ver figs 21-26.

4.6 Cimbra para cascarón cilíndrico

Ver fig 27.

4.7 Cimbra deslizante

Ver fig 28.

4.8 Cimbras especiales

Ver fig 29.

4.9 Gatos de arena

Ver fig 30

5. COSTO DE CIMBRAS

El costo de cimbras puede referirse al metro lineal de un elemento de concreto, al metro cuadrado de sistema de piso o al metro cúbico de concreto. El costo por metro cúbico variará con la relación entre la superficie cimbrada y el volumen de concreto del elemento estructural en cuestión. Intervienen en el costo directo la mano de obra para fabricación y descimbrado, los materiales (madera, clavo, alambre, accesorios, diesel, etc). Al estimar costos debe tenerse en cuenta el número de usos y el desperdicio previstos. En la ref 4 se ilustra cómo determinar el costo directo de las cimbras para algunos elementos estructurales sencillos.

REFERENCIAS

1. M. K. Hurd, "Formwork for Concrete", Revised 3rd edition, ACI SP4, American Concrete Institute, Detroit, 1973.

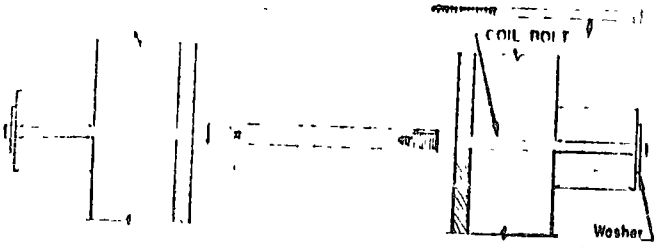
2. A.E. Wynn y G.P. Manning, "Design and Construction of Formwork for Concrete Structures", 6th edition, Cement and Concrete Association, Wexham Springs, 1974.

3. J. G. Richardson, "Formwork Notebook", Cement and Concrete Association, Wexham Springs, 1972.

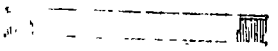
4. C. Suárez Salazar, "Costo y tiempo en edificación", 2a edición, Limusa, México, 1974.

ACCESORIOS DIVERSOS

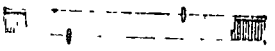
Fig 1



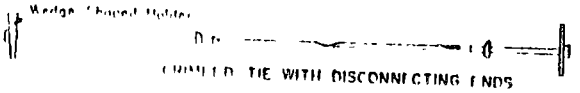
COIL TYPE TIE WITH CONE SPREADER



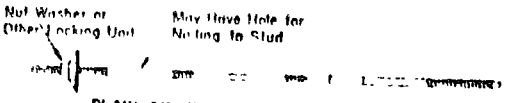
PLAIN COIL TYPE
(ALSO AVAILABLE WITH 4 STRUTS)



WATER SEAL COIL TYPE

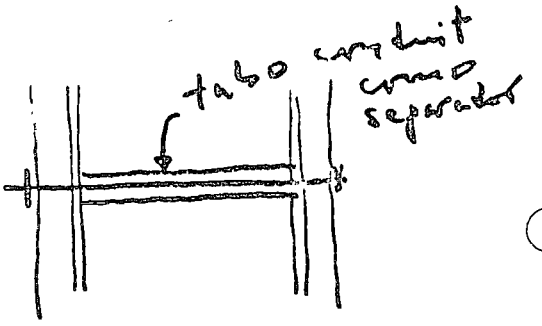


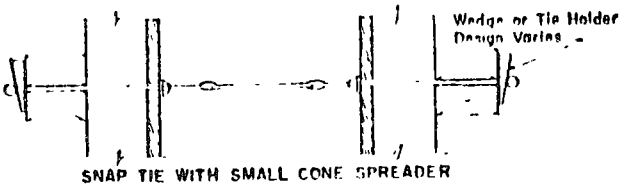
CRIMPED TIE WITH DISCONNECTING ENDS



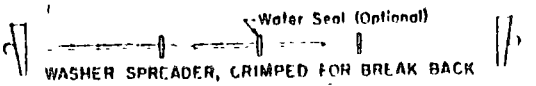
PLAIN TIE WITH SHE-BOLT DISCONNECTING ENDS

TIRANTES

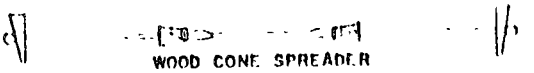




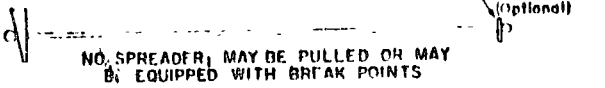
SNAP TIE WITH SMALL CONE SPREADER



WASHER SPREADER, CRIMPED FOR BREAK BACK



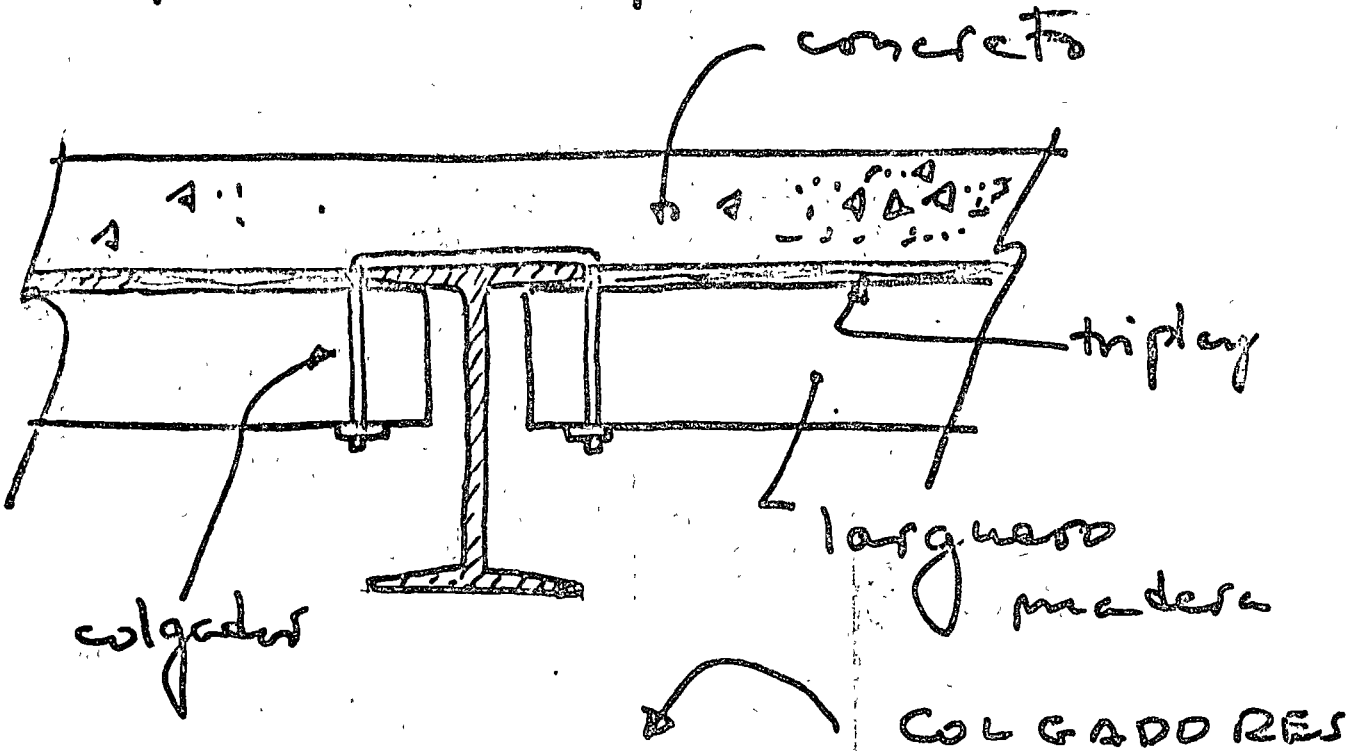
WOOD CONE SPREADER



NO SPREADER, MAY BE PULLED OR MAY BE EQUIPPED WITH BREAK POINTS

ACCESORIOS DIVERSOS

Fig 2



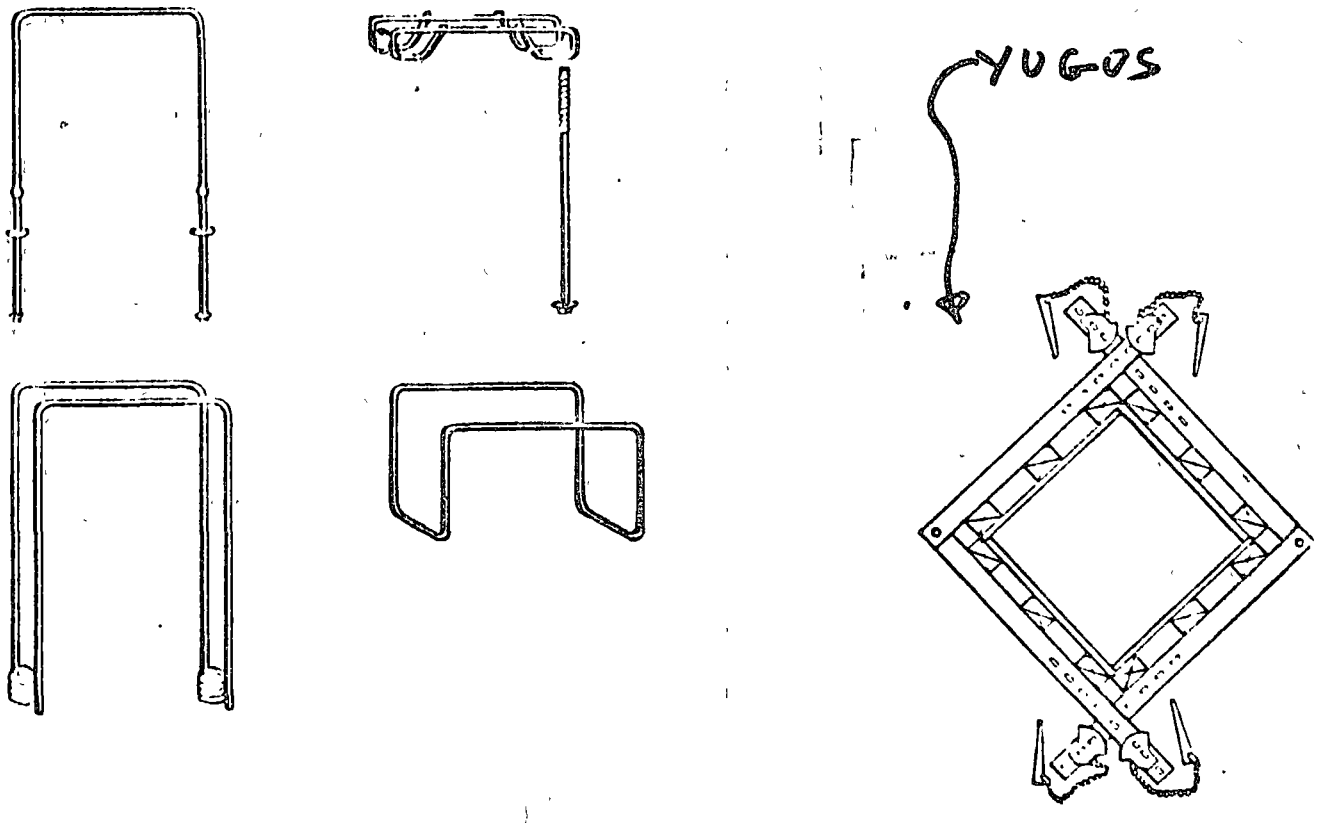
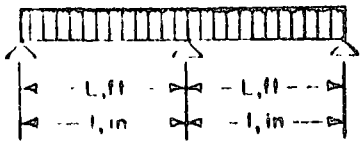


TABLE 6-1: BEAM FORMULAS APPLICABLE FOR FORMWORK DESIGN

BEAM CONTINUOUS OVER TWO EQUAL SPANS, UNIFORM LOAD



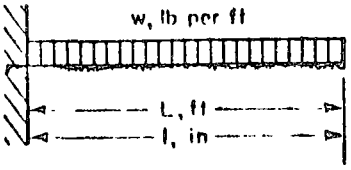
$M_{max} = \frac{wL^2}{8}$ ft-lb $= \frac{wl^2}{96}$ in.-lb

$\Delta_{max} = \frac{1}{185} \times \frac{w}{12} \times \frac{l^4}{EI}$ in.

$V_{max} = \frac{5}{8} wL$ lb

$V = \frac{5w}{8}\left(L - \frac{2h}{12}\right)$ lb (modified value neglecting load within distance h from supports)

CANTILEVER (FIXED AT ONE END) BEAM, UNIFORM LOAD

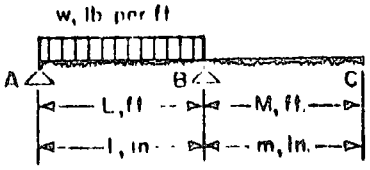


$M_{max} = \frac{wL^2}{2}$ ft-lb $= \frac{wl^2}{24}$ in.-lb

$\Delta_{max} = \frac{w}{12} \times \frac{l^4}{8EI} = \frac{wl^4}{96EI}$ in.

$V_{max} = wL$ lb

BEAM OVERHANGING ONE SUPPORT, UNIFORM LOAD BETWEEN SUPPORTS

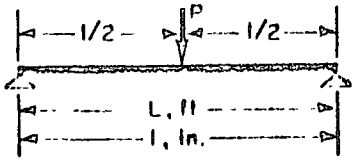


$M_{max} = \frac{wL^2}{8}$ ft-lb $= \frac{wl^2}{96}$ in.-lb

$\Delta_{max} = \frac{5}{384} \times \frac{w}{12} \times \frac{l^4}{EI}$ in.

$\Delta_C = \frac{w}{12} \times \frac{l^3 m}{24EI}$ in. $V_{max} = \frac{wL}{2}$ lb

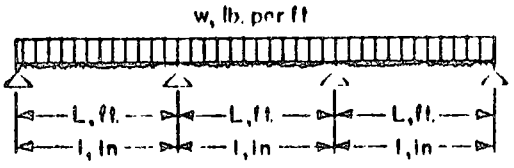
SIMPLY SUPPORTED BEAM, CONCENTRATED LOAD AT MIDPOINT



$M_{max} = \frac{PL}{4}$ ft-lb $= \frac{Pl}{4}$ in.-lb

$\Delta_{max} = \frac{Pl^3}{48EI}$ in. $V_{max} = \frac{P}{2}$ lb

BEAM CONTINUOUS OVER 3 OR MORE SPANS, UNIFORM LOAD (approximate values)



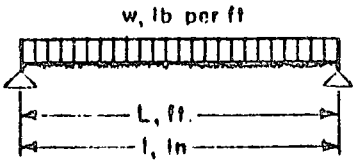
$M_{max} = \frac{wL^2}{10}$ ft-lb $= \frac{wl^2}{120}$ in.-lb

$\Delta_{max} = \frac{1}{145} \times \frac{w}{12} \times \frac{l^4}{EI}$ in.

$V_{max} = 0.6\, wL$ lb

$V = 0.6\, w\left(L - \frac{2h}{12}\right)$ lb (modified value neglecting load within distance h from supports)

SIMPLY SUPPORTED BEAM, UNIFORM LOAD



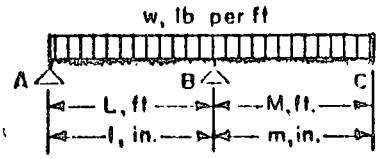
$M_{max} = \frac{wL^2}{8}$ ft-lb $= \frac{wl^2}{96}$ in.-lb

$\Delta_{max} = \frac{5}{384} \times \frac{w}{12} \times \frac{l^4}{EI}$ in

$V_{max} = \frac{wL}{2}$ lb

$V = \frac{w}{2}\left(L - \frac{2h}{12}\right)$ lb (modified value neglecting load within distance h from supports)

BEAM OVERHANGING ONE SUPPORT, UNIFORM LOAD



$M_{max\ AB} = \frac{w}{8L^2}(L + M)^2(L - M)^2$ ft-lb

$= \frac{w}{96l^2}(l + m)^2(l - m)^2$ in.-lb

$M_B = \frac{wM^2}{2}$ ft-lb $= \frac{wm^2}{24}$ in.-lb

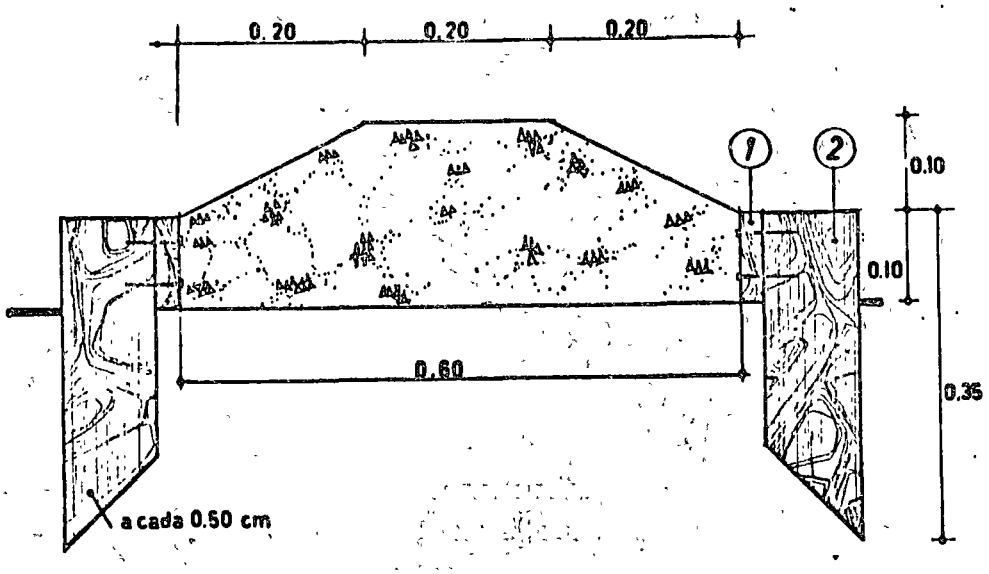
$\Delta_C = \frac{w}{12} \times \frac{m}{24EI}(4m^3l - l^4 + 3m^4)$

$\Delta_x\left(\frac{\text{at } x \text{ in}}{\text{from A}}\right) = \frac{w}{12} \times \frac{1}{24EI}(l^4 - 2l^3x^2 + lx^3 - 2m^3l^2 + 2m^3x^2)$ in

$V_{max\ B} = \frac{w}{2L}(L^2 + M^2)$ lb

Fig (3)

CIMBRAS PARA ZAPATAS Y TRABES DE CIMENTACION



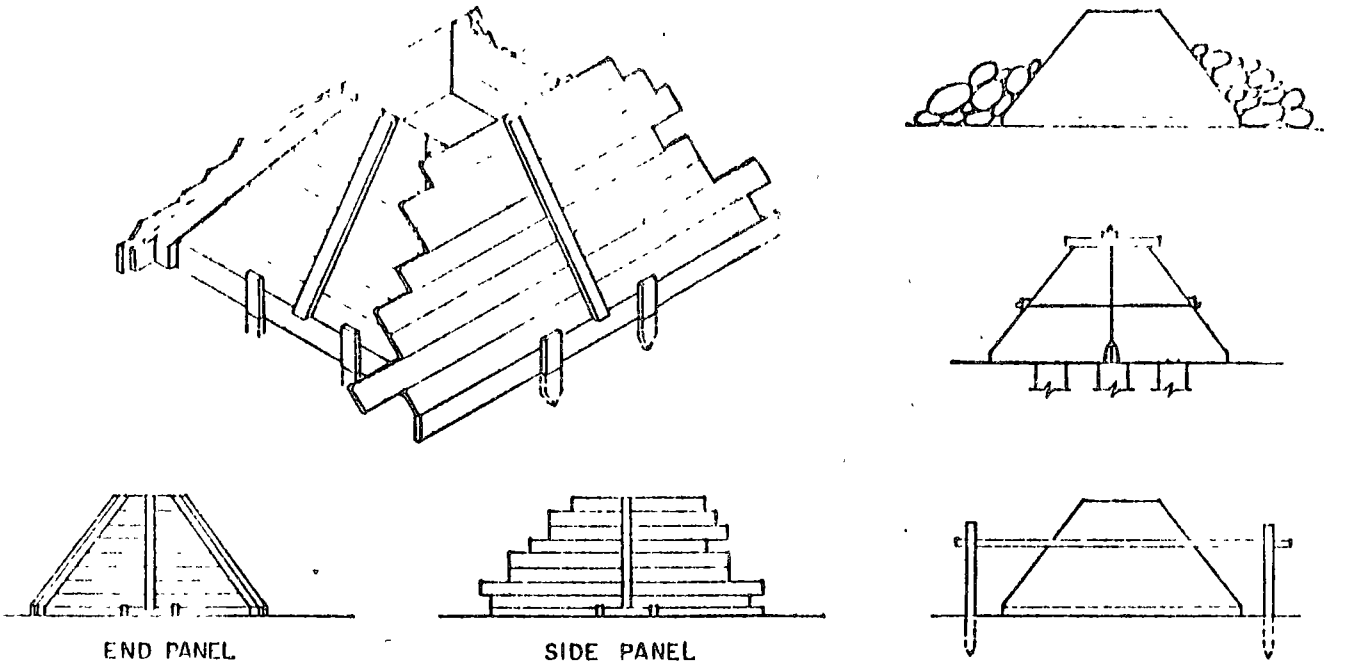
(1) DUELA 1"x 4"

(2) YUGO 2"x 4"
CLAVO 2½" a 40 pza / m²

Zapata de perfil variable

Fig (4)

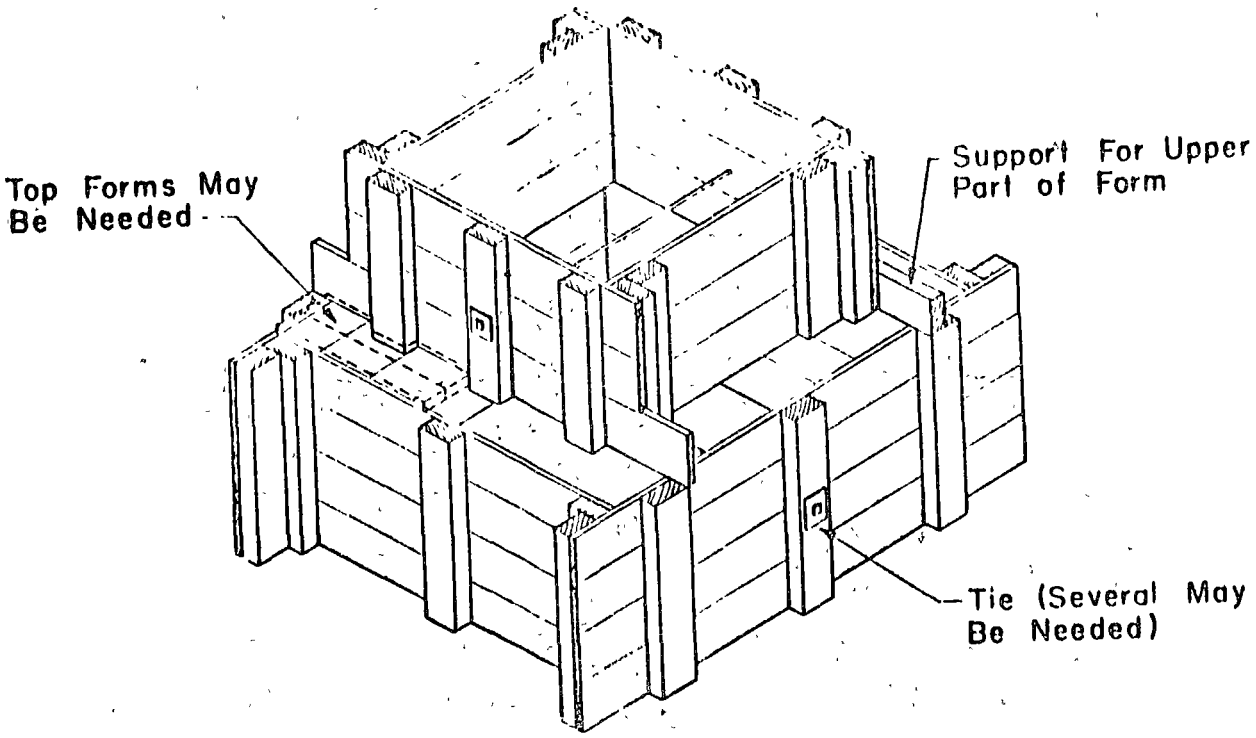
CIMBRAS PARA ZAPATAS Y TRABES DE CIMENTACION



Zapata de gravedad
- vaciado con
talud fuerte

Fig 5

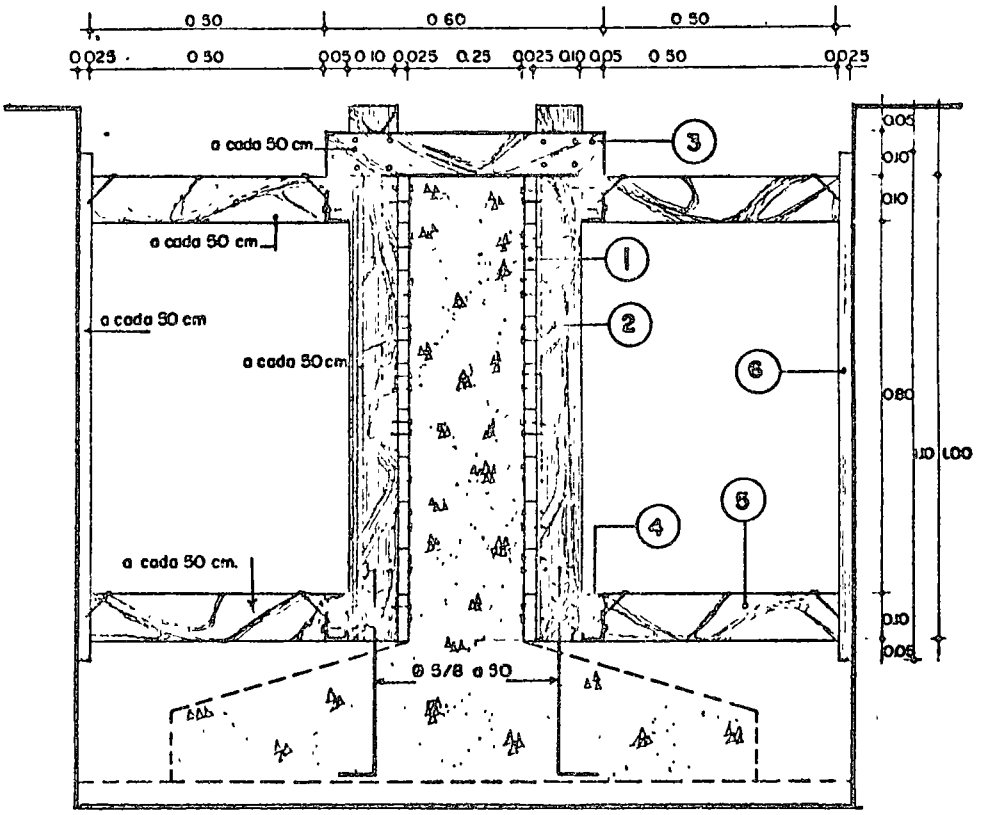
CIMBRAS PARA ZAPATAS Y TRABES DE CIMENTACION 3



Zapata acalonada

Fig 6

CIMBRAS PARA ZAPATAS Y TRABES DE CIMENTACION



1. DUELA EN CONTACTO 1"x4"
2. YUGOS 2"x4"
3. SEPARADORES 2"x4"
4. MADRINAS 2"x4"
5. PIES DERECHOS 4"x4"
6. ARRASTRES 1"x4"

clavos 2½" 40 pz/m²

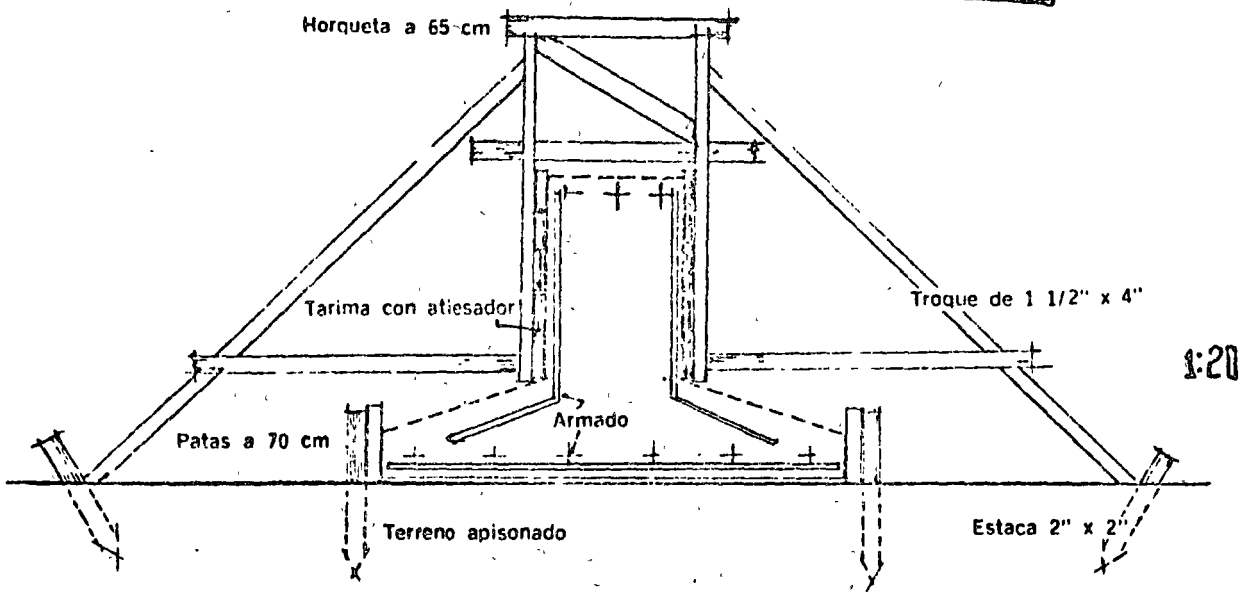
clavos 3½" 32 pz/m²

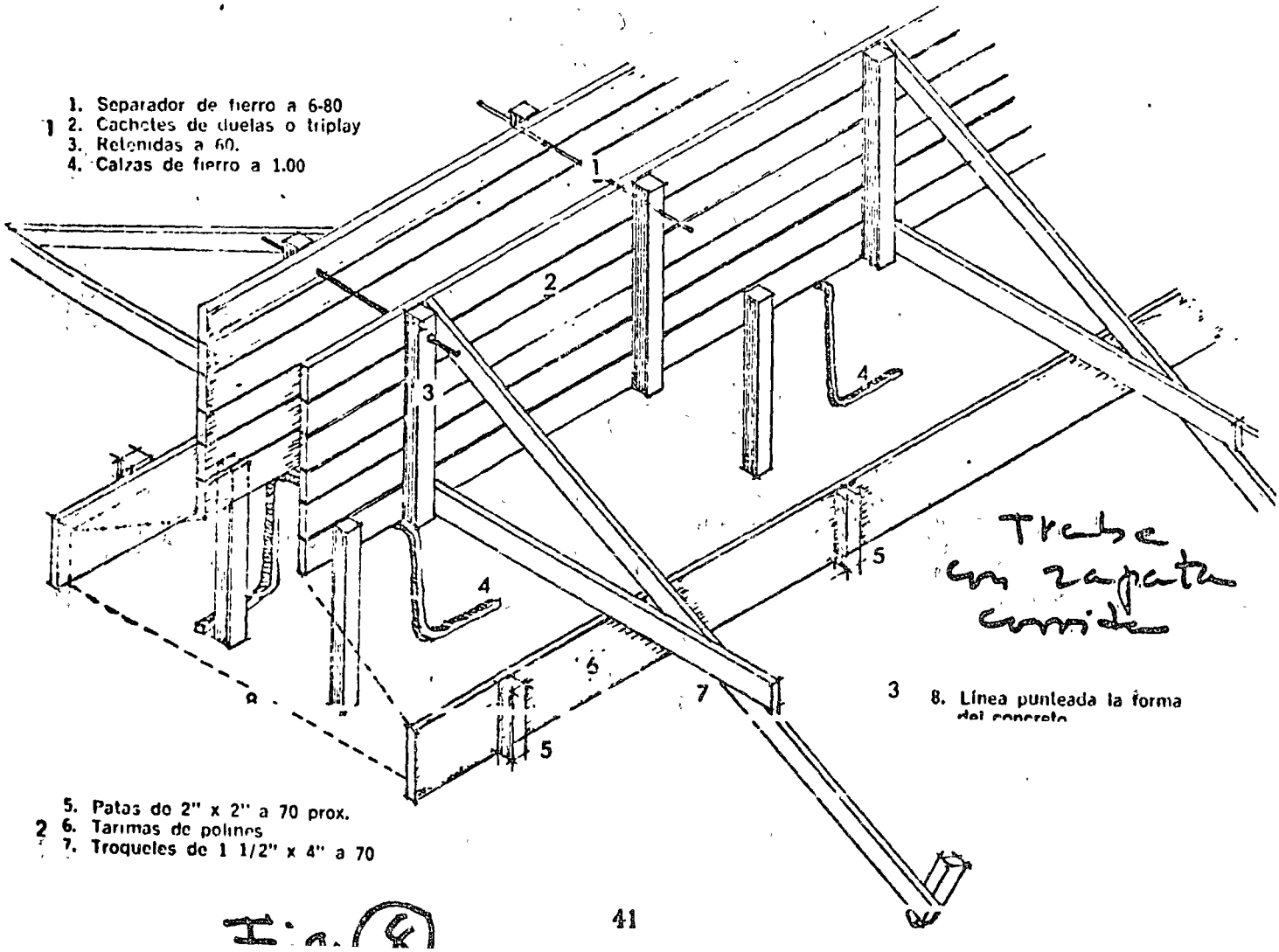
varillas ø 5/8" 1.73 kg/m²

Trabe de cimentación

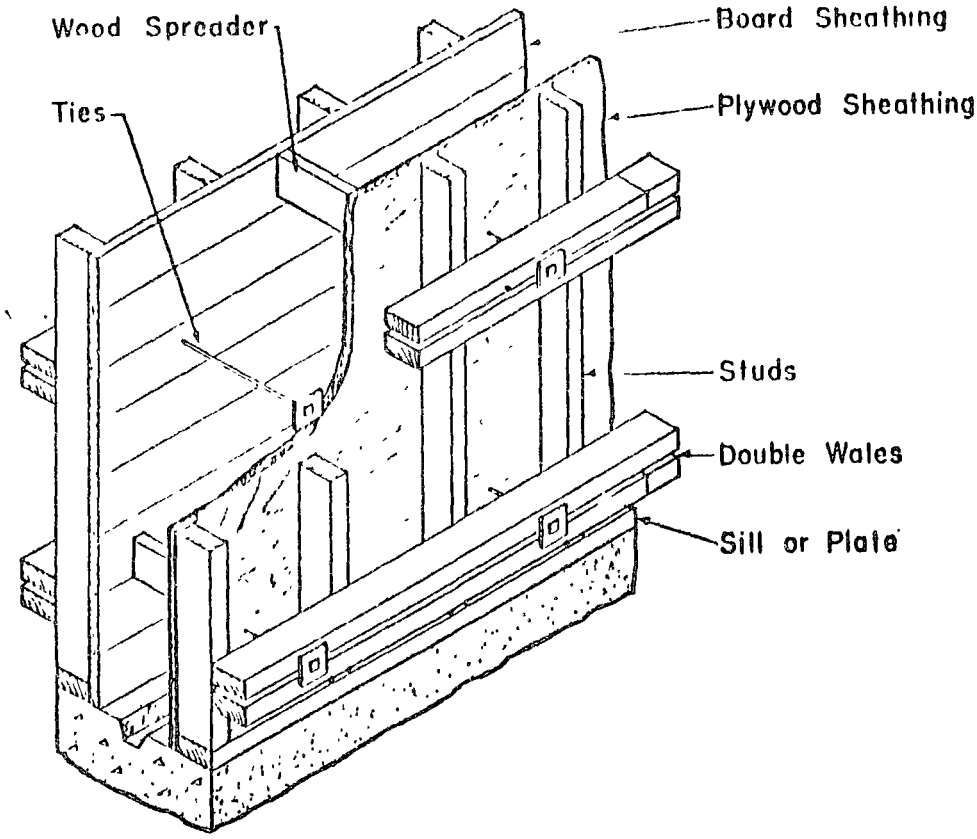
Fig 7

CIMBRAS PARA ZAPATAS Y TRABES DE CIMENTACIONES





CIMBRAS PARA MUROS



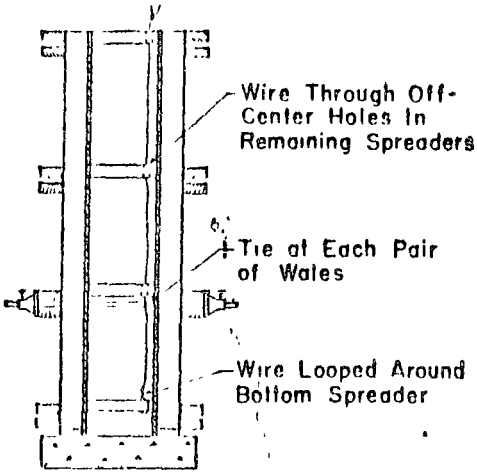


Fig 9

9-24 Wire attached to bottom spreader and passing through upper ones is used to withdraw spreaders as concrete rises in the form. This system prevents loss of spreaders in the concrete.

CIMBRAS PARA MUROS

CIMBRA EN MUROS 10 M^2/M^3

VOLUMEN DE CONCRETO 0.20 m^3/m^2
RELACION 10 m^2/m^3

clavo 2 1/2" 40 pz/m^2
clavo 3 1/2" 12 pz/m^2
sepadores 1.25 pz/m^2
varilla ø 3/8 0.125 kg/m^2

1. DUELA 1"x4"
2. YUGO 2"x 4"
3. SEPARADORES 2"x4"
4. MADRINA 4"x4"
5. PIE DERECHO 4"x4"
6. ESTACAS 2"x 4"
7. RASTRAS 1"x 4"

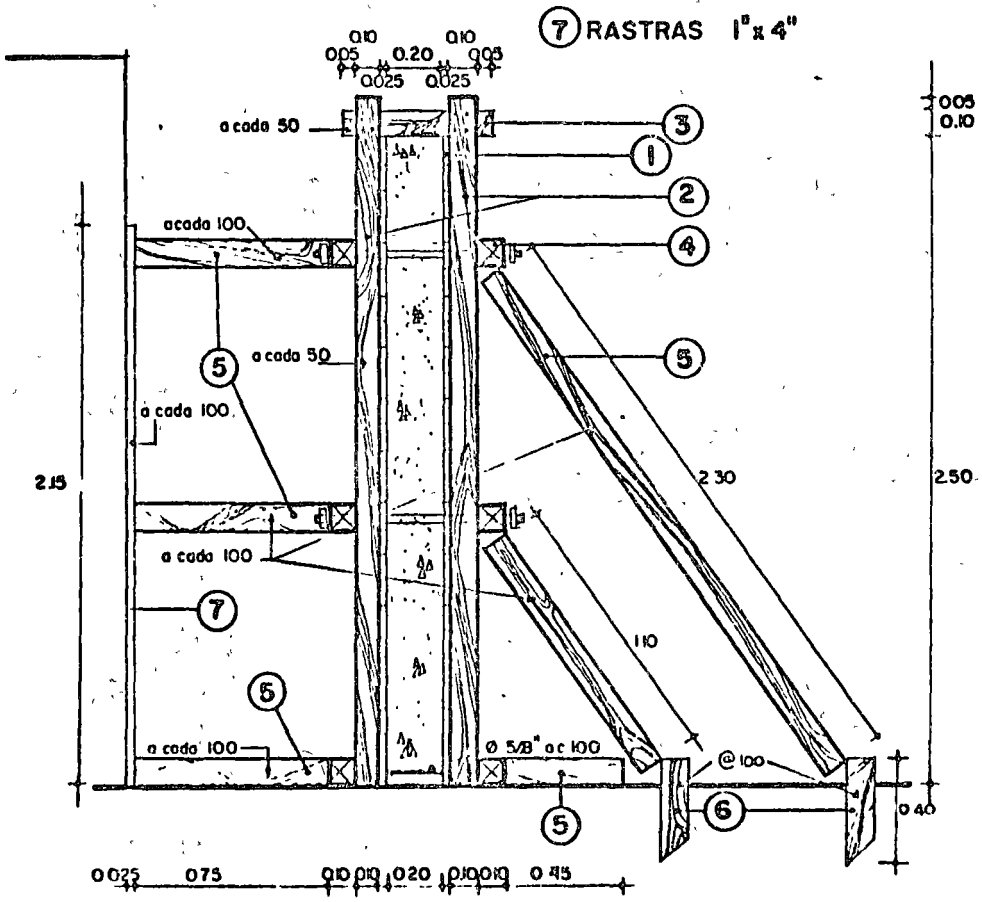
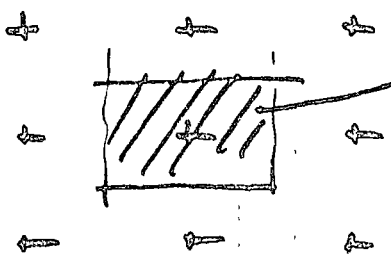


Fig 10

CIMBRAS PARA MUROS

DISEÑO TIRANTES

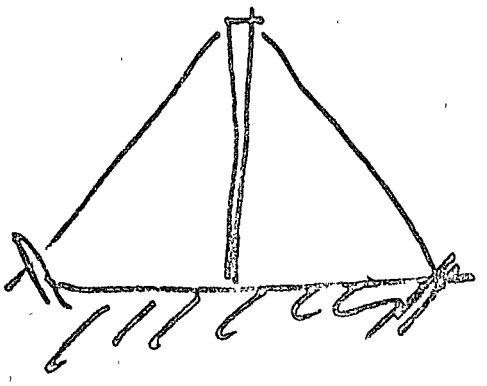


Area Tributaria Tirante

Usar presión promedio para calcular carga sobre el tirante.

RIGIDIZACION PARA FUERZAS LATERALES

con alambre o alambrón



con puntal

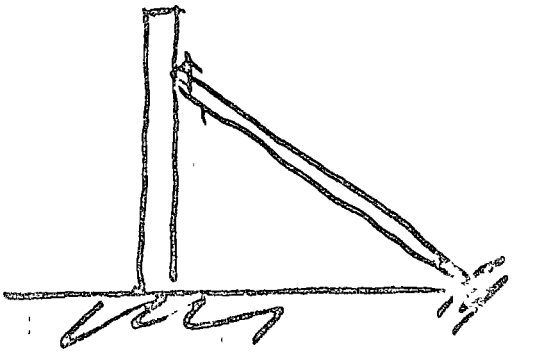
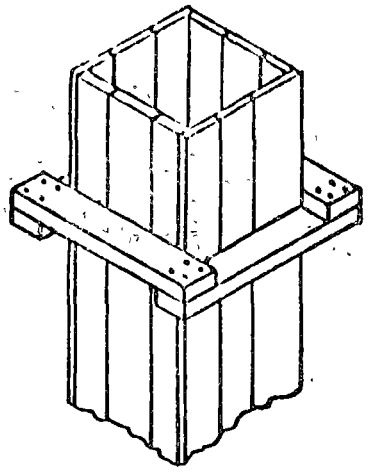
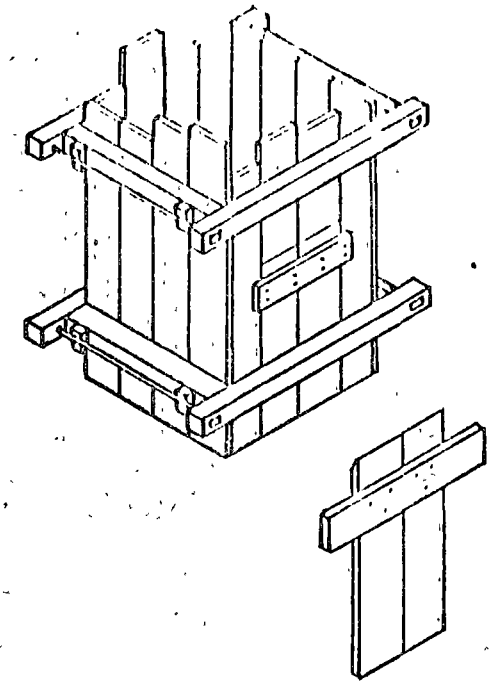


Fig (11)

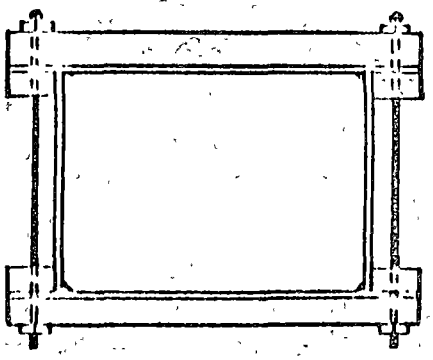
CIMBRAS PARA COLUMNAS



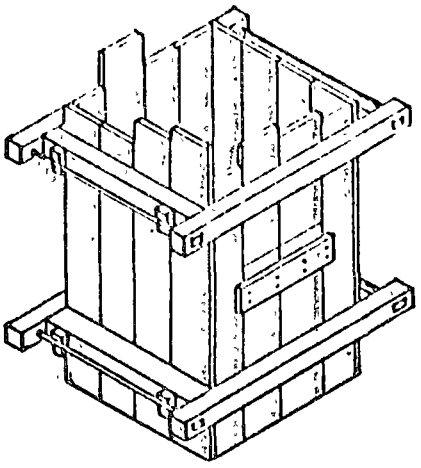
CASE 1. All wood with wooden yokes
A. Check support requirements of sheathing.
B. Investigate combined bending and axial load in each component of yoke.



9-58 Column formed with board sheathing, using wood and bolt yoke: wedging between bolt and side panel batten to tighten form.



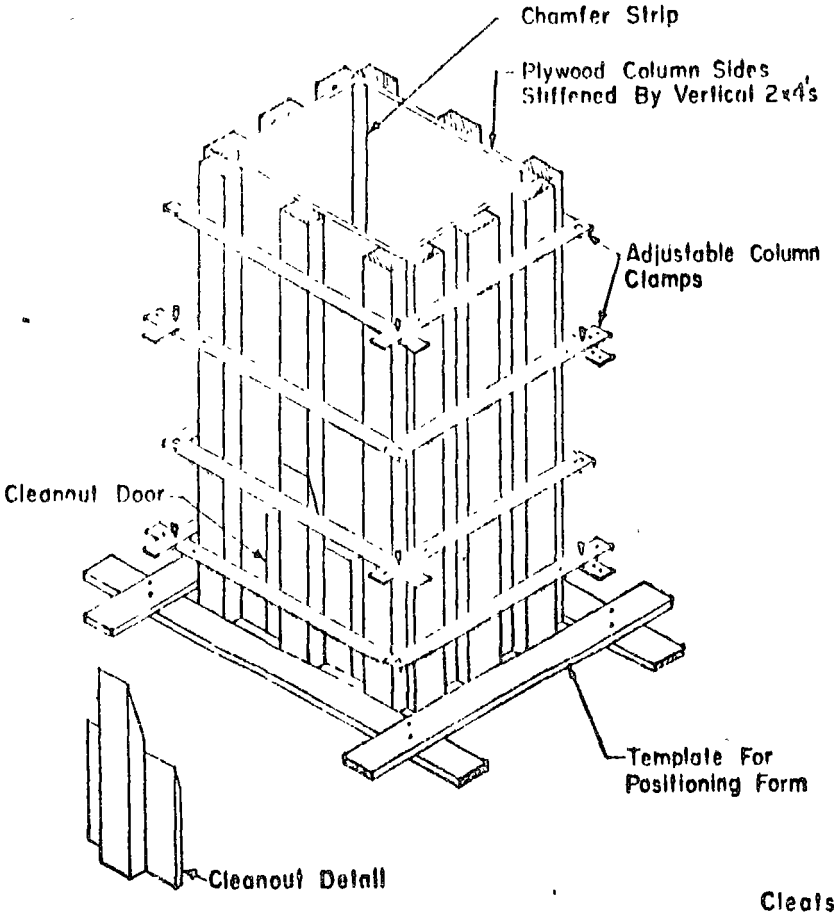
CASE 2 Plywood with combination wood and tie bolt yoke
A Check support requirements of sheathing.
B. Investigate combined bending and axial load in wood yokes; investigate tension in rod or chain member.



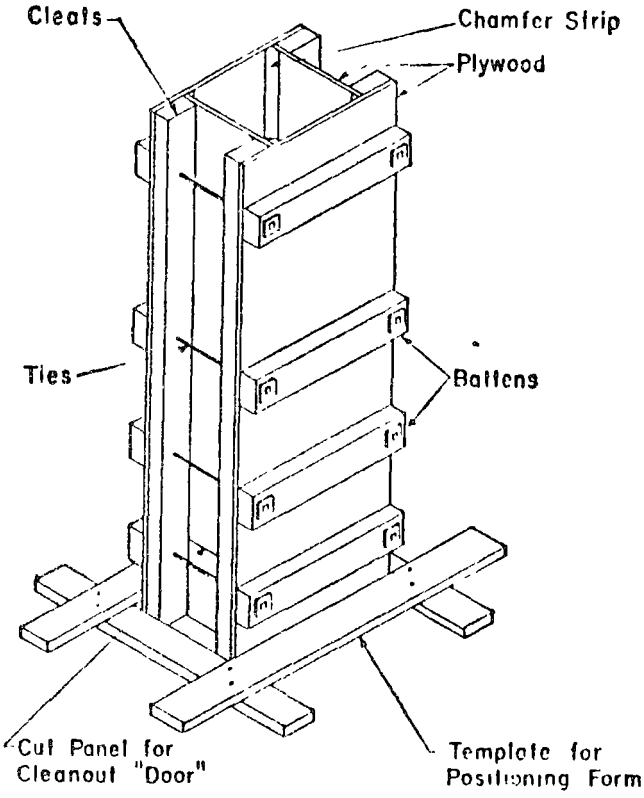
Varios tipos de cimbras para columnas

Fig. 12

CIMBRAS PARA COLUMNAS.



cimbra con yugos metálicos



cimbra de Triplay

fig 13

9-56 One method suitable for forming light columns, up to about 12x12 in. Plywood is backed by battens which are a part of the wood and bolt column yoke.

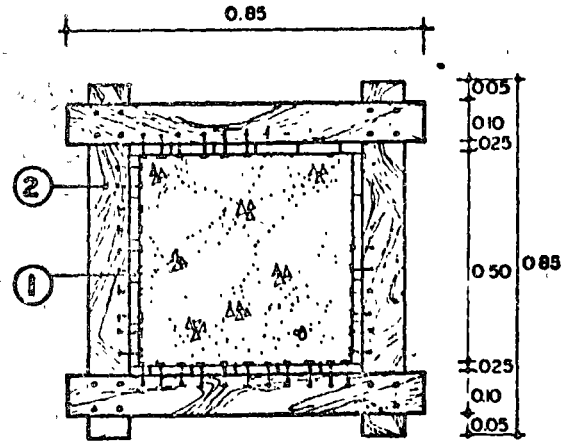
CIMBRAS PARA COLUMNAS 3

CIMBRA EN COLUMNAS 8 m2/m3

sección 50 x 50 cm

volumen de concreto 0.25 m³/ml

relación 8 m²/m³

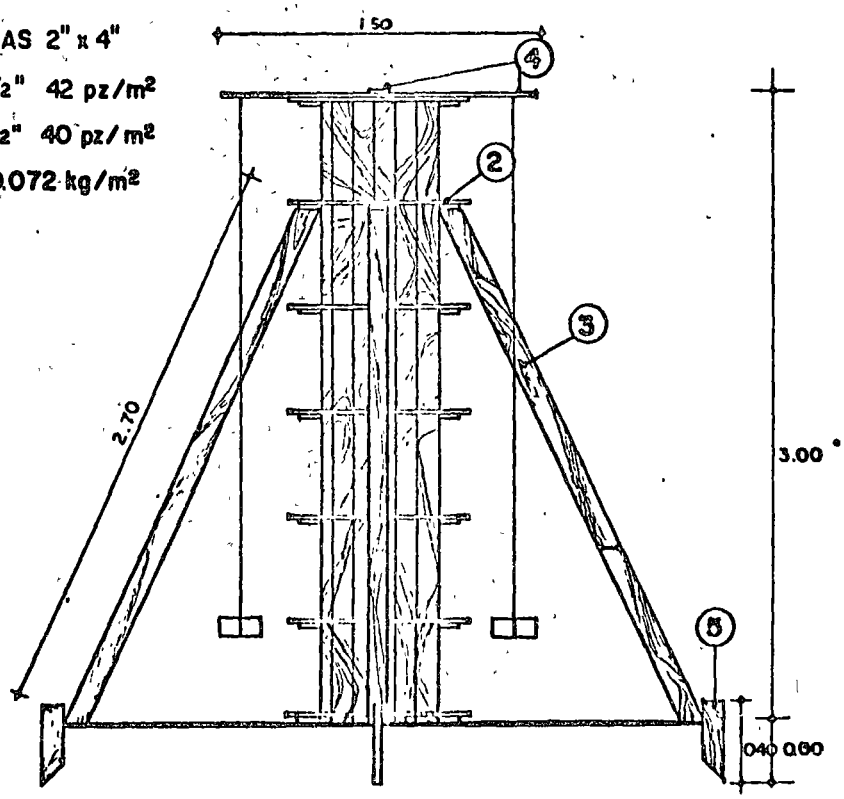


1. DUELA EN CONTACTO 1"x4"
2. YUGOS 2"x4"
3. PIES DERECHOS 4"x4"
4. PLOMOS 1"x4"
5. ESTACAS 2"x4"

clavo 2 1/2" 42 pz/m²

clavo 3 1/2" 40 pz/m²

alambre 0.072 kg/m²



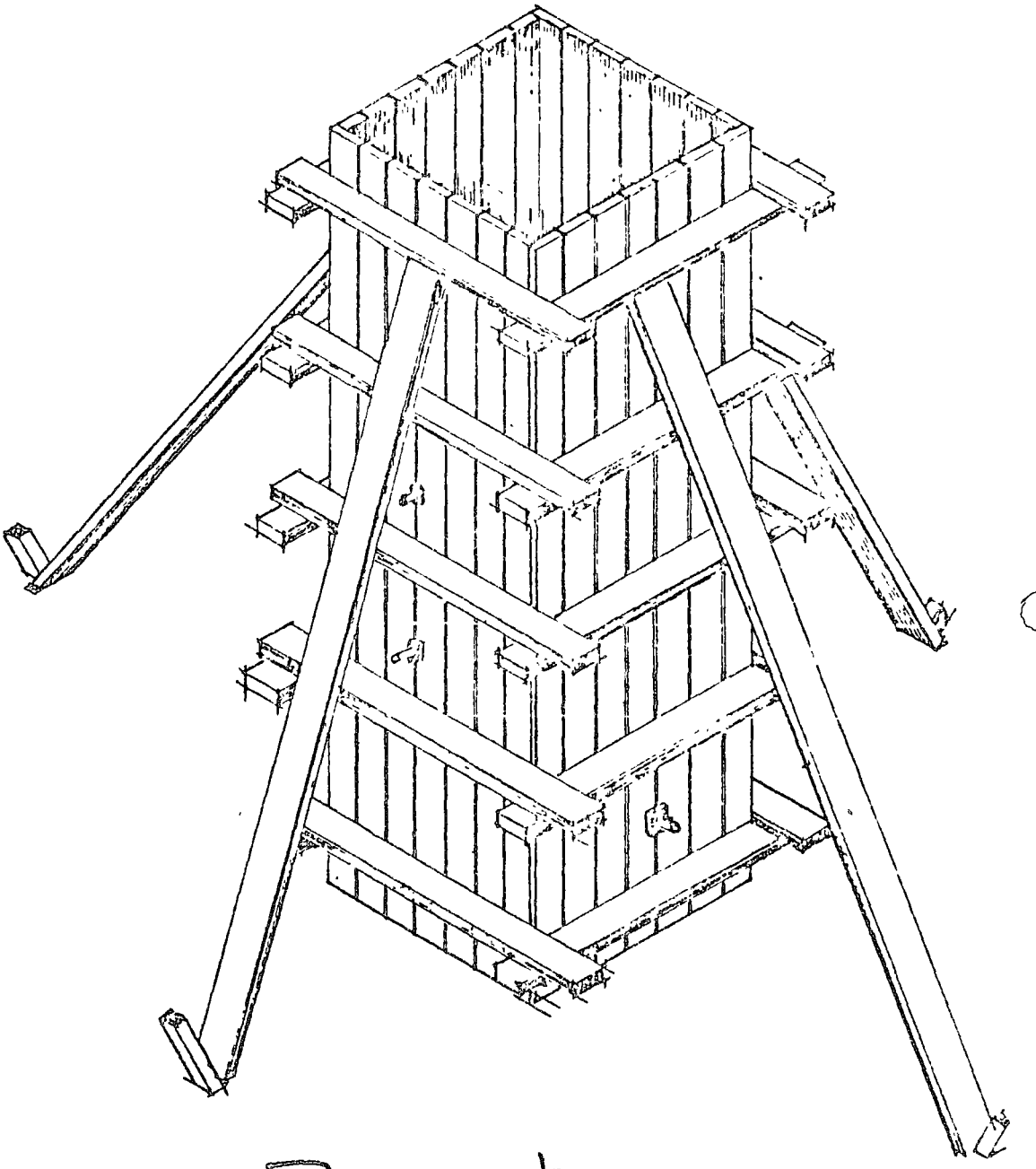
Plomeo y nivelación de cimbras para columnas

Fig. 14

n) COLUMNA

CIMBRAS PARA COLUMNAS

Cachetes o moldes
o
Costados de triplay
o duela 1 1/2" x 4"
Puntal o contraventeo
o tirantes
Yugos a 0.50
Estacas



Separadores
de fierro a 0.80
Se plomea la
cimbra bajando un
peso por un extremo

Perspectiva cimbra columna

Fig 15

CIMBRAS PARA COLUMNAS

Columna y zapata aislada

I) COLUMNAS AISLADAS

1. Armado de la columna
2. Cachetes de duelas o triplay 1"
3. Yugos a 0.50
4. Dados contravientos
5. Calzas de fierro
6. Dables del armado para amarre
7. Emparrillado de zapata
8. Cachetes de duela o polines
9. Patas
10. Estacas
11. Plomos, alambrón y tabiques para plancar la columna.

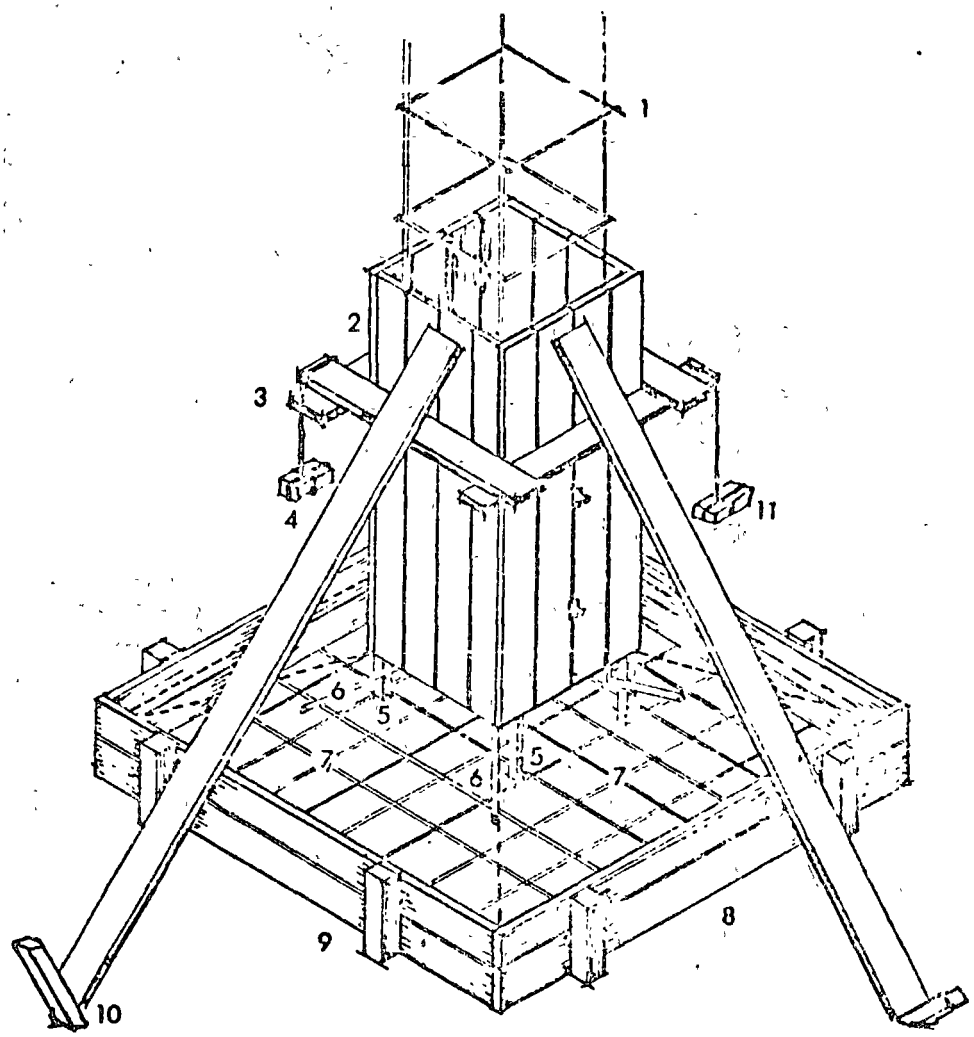
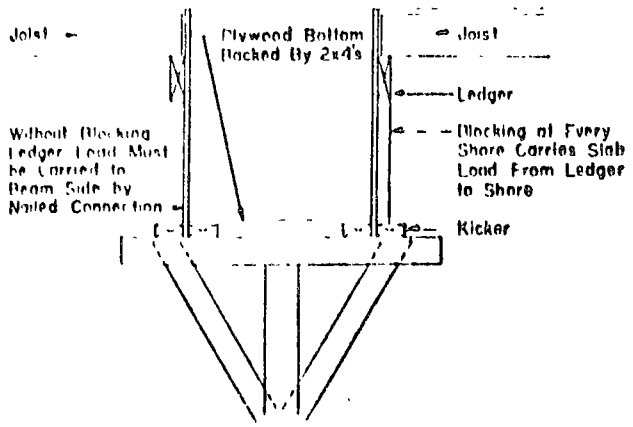
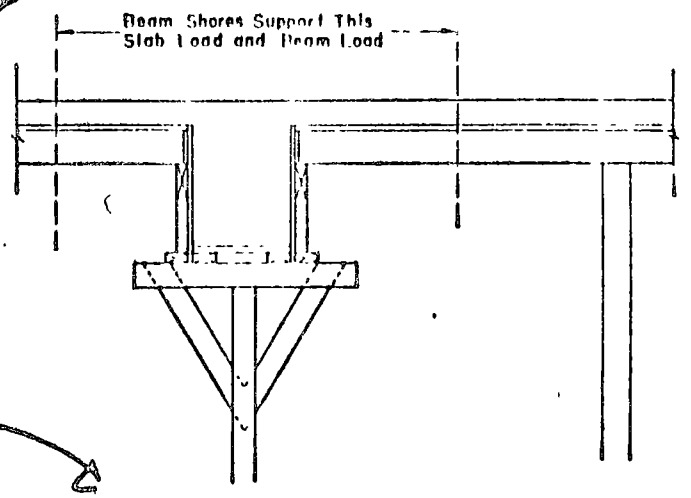


Fig. (16)

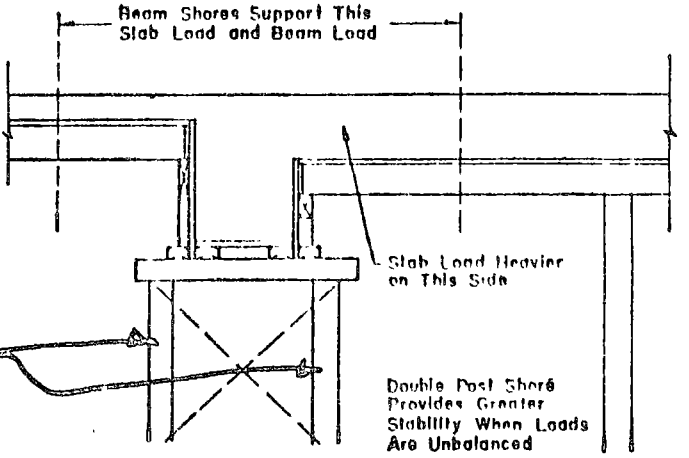
CIMBRAS PARA TRABES



Cimbra típica para trabe



Debe determinarse qué parte de la losa cargarán los pies derechos de la trabe

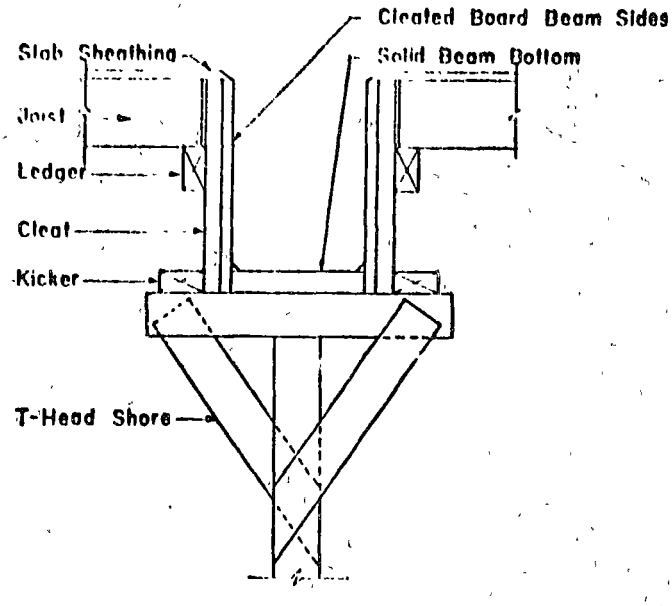


El doble pie derecho proporciona mayor estabilidad.

99

Fig 17

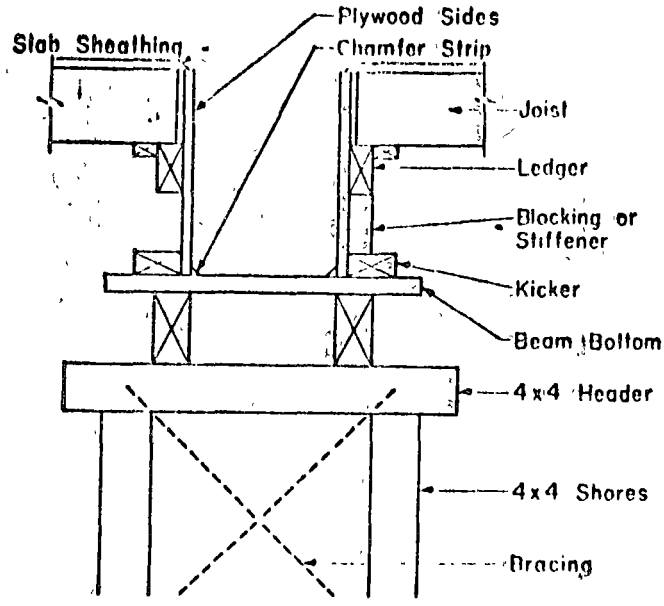
CIMBRAS PARA TRABES 2



9-69 Beam form details when cleated boards serve as beam sides and beam bottom is a solid piece of dimension lumber

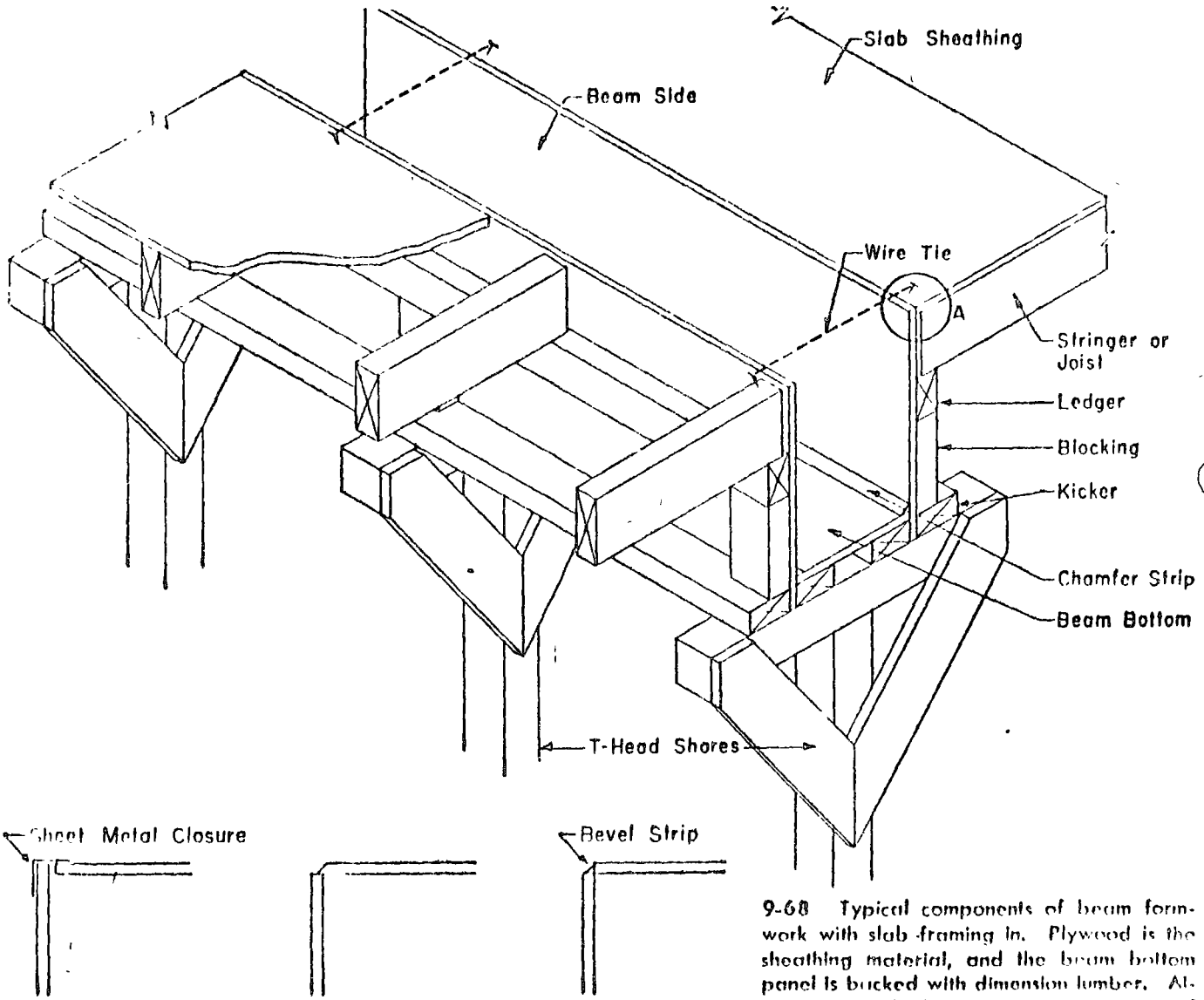
Ejemplos de cimbras para vigas

Fig 18



9-70 Another less common beam forming method. Beam sides rest on beam bottom, which is carried on stringers resting on double post shores. This design permits wider shore spacing and offers resistance to tipping when loading is unbalanced.

CIMBRAS PARA TRABES 3



ALTERNATE DETAILS AT "A"

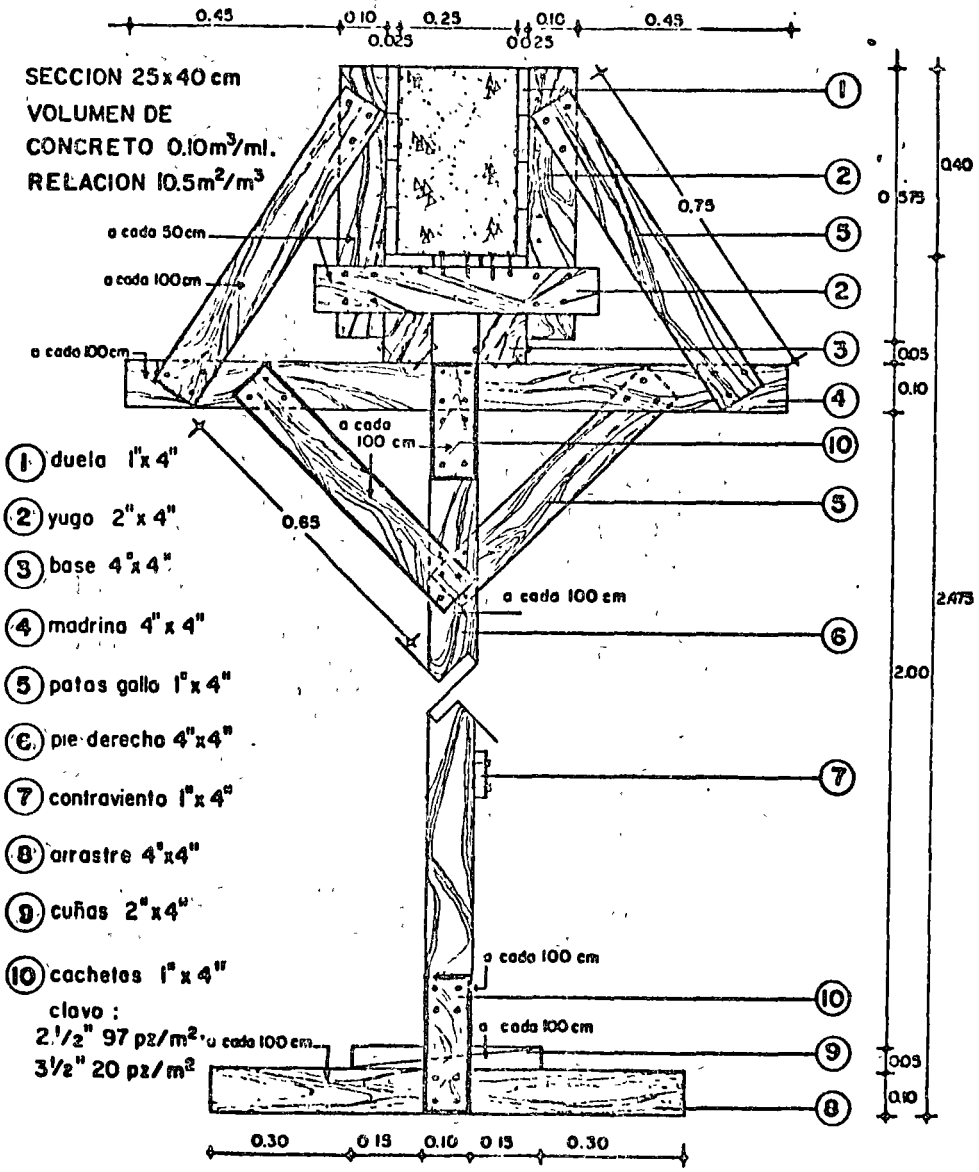
9-68 Typical components of beam formwork with slab framing in. Plywood is the sheathing material, and the beam bottom panel is backed with dimension lumber. Alternate details show different treatments of the form at beam-slab intersection.

Detalles cimbra trabe

Fig 19

CIMBRAS PARA TRABES 4

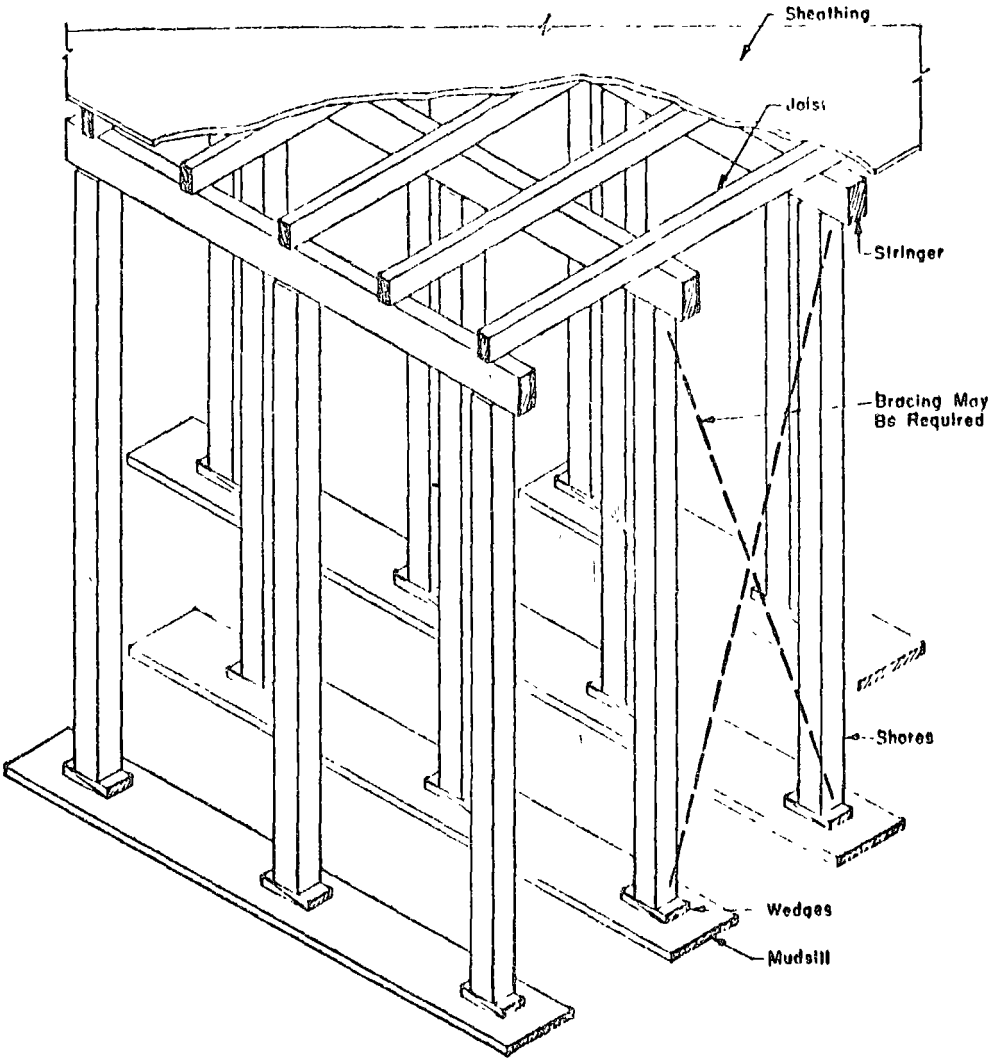
CIMBRA EN TRABES **10.5 m2/m3**



Cimbra para trabe 6x4 larga

Fig 20

CIMBRAS PARA LOSAS 1



Elementos cimbra bra plana

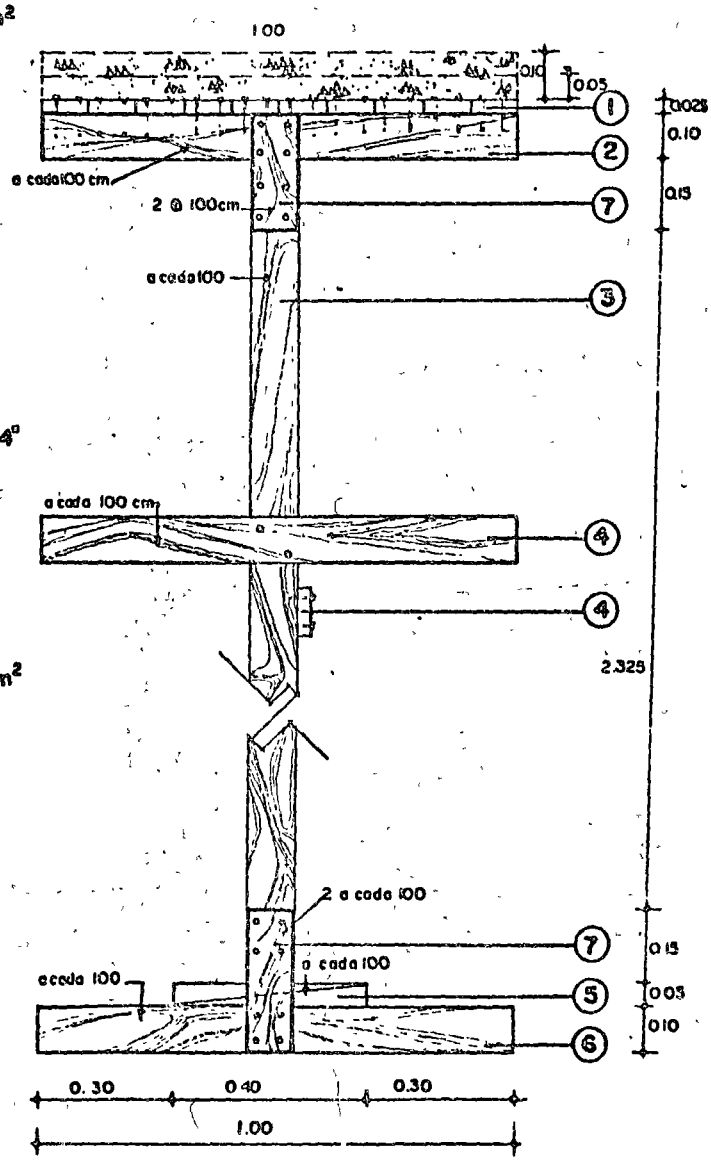
Fig 21

CIMBRAS PARA LOSAS 2

CIMBRA EN LOSAS 20 A 10 M2/M3

W_M = 220 a 240 kg/m²

VOLUMEN CONCRETO
0.05 a 0.10 M^3/M^2
RELACION 20 a 10 M^2/M^3



1. DUELA 1"x4"
2. MADRINA 4"x 4"
3. PIE DERECHO 4"x4"
4. CONTRAVIENTO 1"x 4"
5. CUÑAS 2"x 4"
6. ARRASTRES 4" x 4"
7. CACHETES 1" x 4"

clavo 2 1/2" 56 pz/m²

Fig 22

CIMBRAS PARA LOSAS 3

CIMBRA DE LOSAS CON TARIMAS **50 X 100 cm.**

WM 240 a 480 KG/M²

VOLUMEN DE CONCRETO
0 10 a 0 20 m³/m²

RELACION 20 a 10 m²/m³

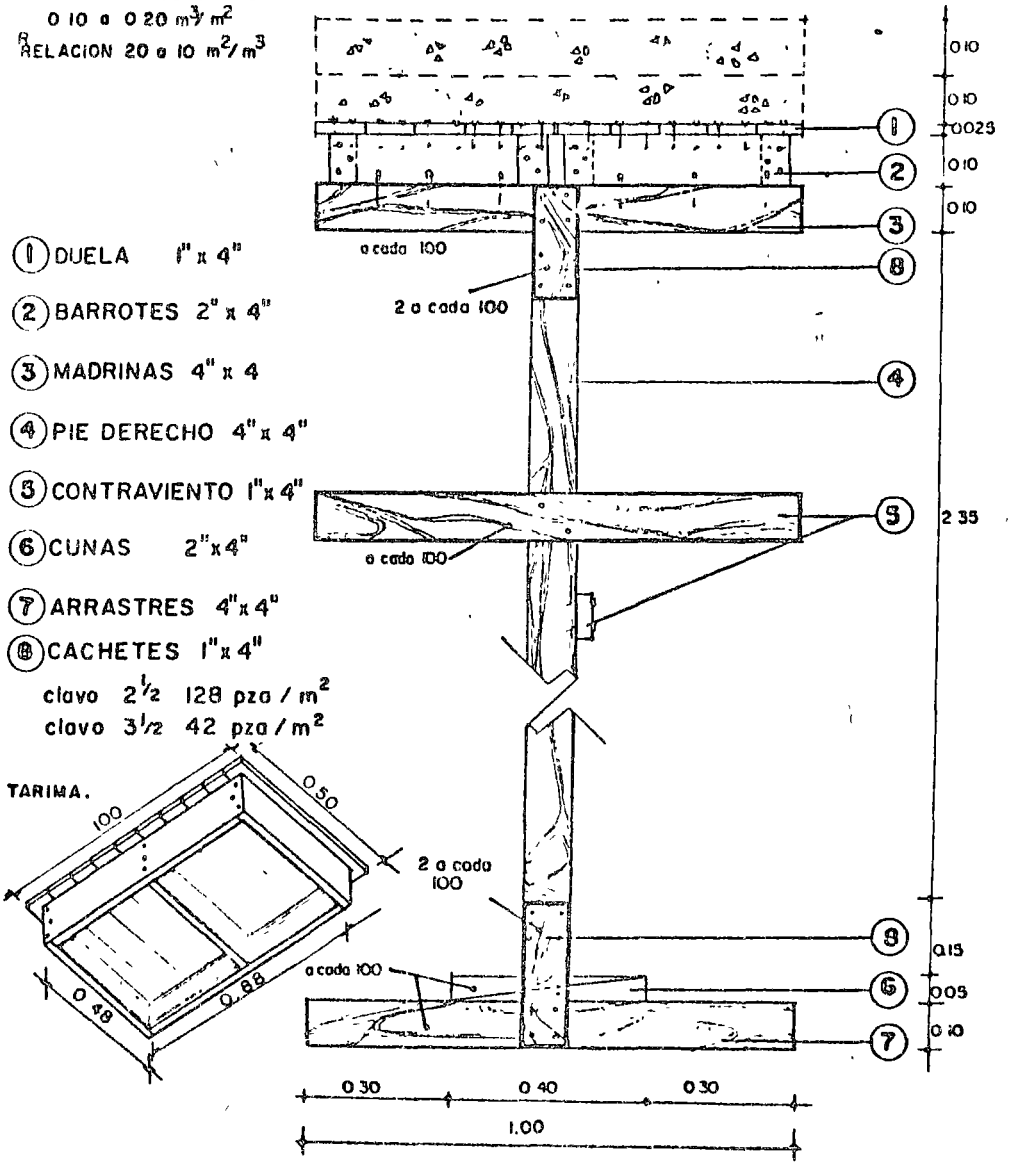
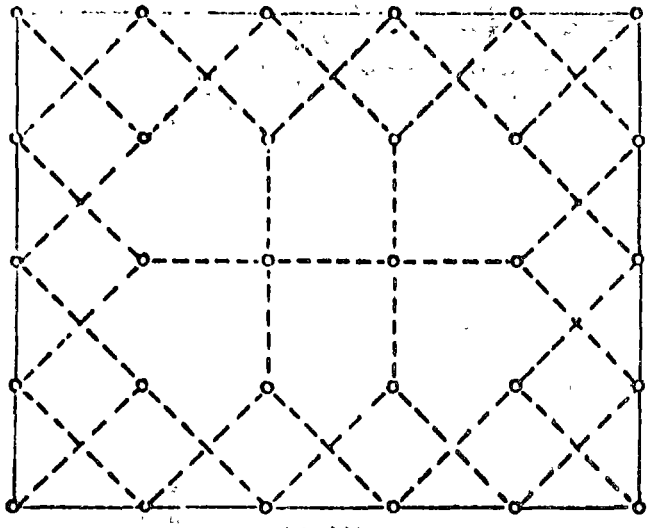


Fig (23)

RIGIDIZACION SISTEMAS DE CIMBRA PARA LOSAS

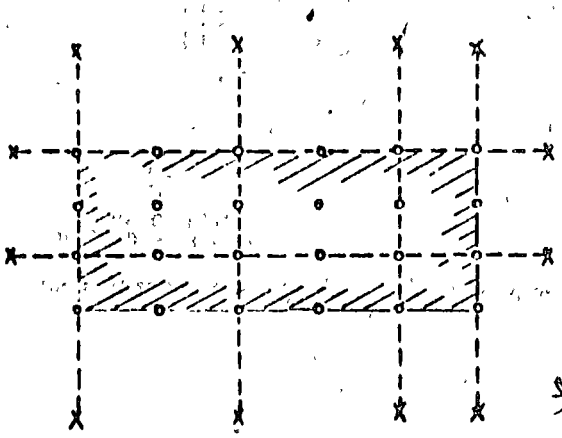


PLAN

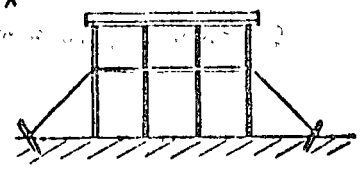
o–Temporary Shore

ELEVATION

6-9 Braced bays; no exterior guys or anchors needed. Bays marked with dashed X-lines have complete X bracing system on vertical lines in both directions as well as horizontal X-bracing. Distance between braced bays depends on size of bay, weight on form, height of form, live load, etc. Center shores tied in with strut bracing.



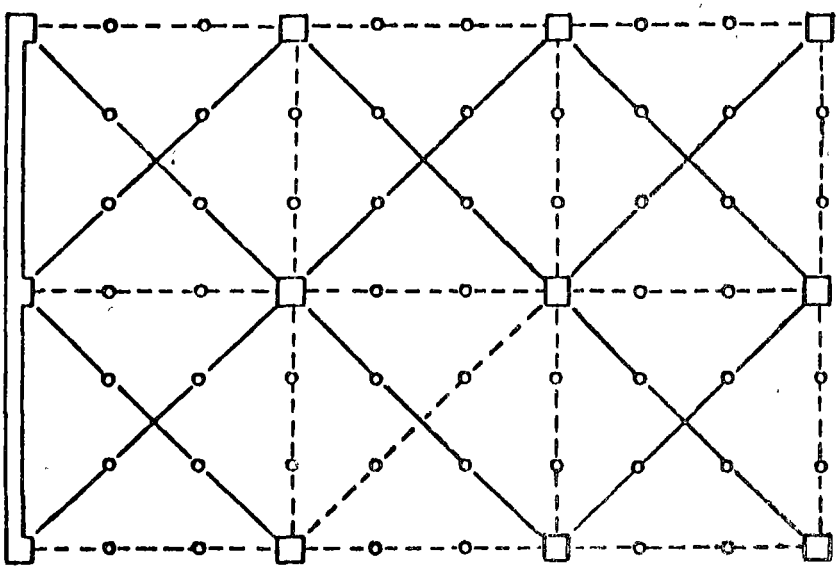
PLAN



ELEVATION

▨–Slab Area o–Temporary Shore

6-10 Braced lines. Distance between braced lines depends on height of form, size of bay, etc. X's mark either dead men or existing concrete for anchorage. Bracing lines may be struts only for short heights; X-brace for spliced shores.

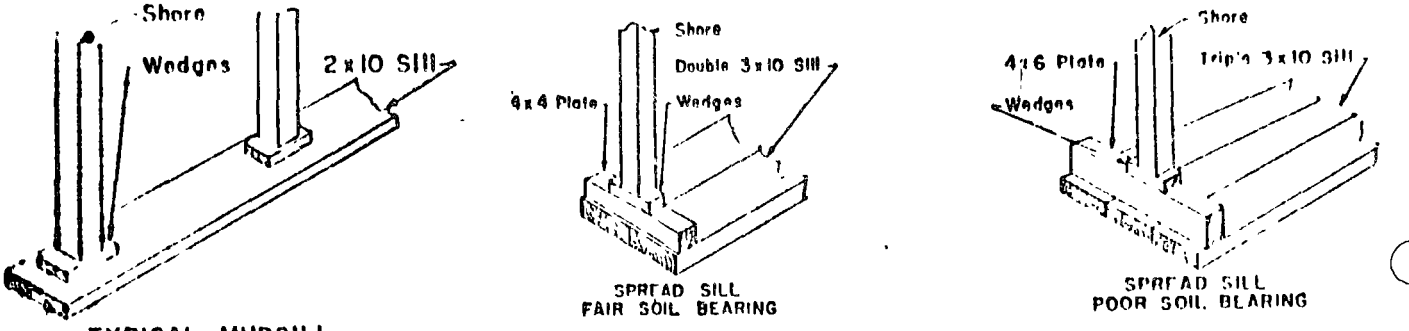


□ Concrete Column

o Temporary Shore

6-11 Use of completed columns or walls for bracing. Dashed lines indicate one line of strut braces to columns cast earlier. Solid lines represent X-bracing also tied into existing columns. Intermediate lines are needed if shores are spliced.

PIES DERECHOS,



TYPICAL MUDSILL
GOOD SOIL BEARING

SPREAD SILL
FAIR SOIL BEARING

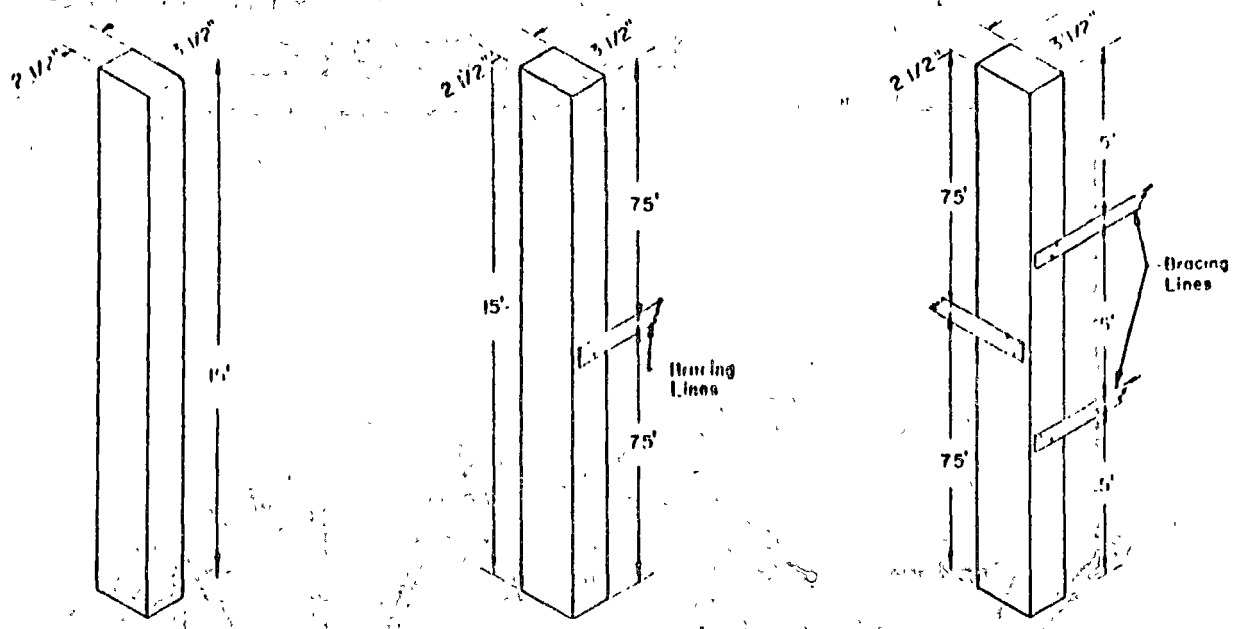
SPREAD SILL
POOR SOIL BEARING

9-98 Wood mudsills, showing spread types for fair and poor bearing

Apoyos | pies derechos

Fig 25

PIES DERECHOS



When neither face is braced use smaller d.

$$l/d = \frac{15 \times 12}{2\frac{1}{2}} = 72.0$$

This exceeds limit of 50 so this shore could not be used without added bracing.

In plane parallel to narrow face

$$l/d = \frac{7.5(12)}{2\frac{1}{2}} = 36.0$$

In plane parallel to wider face

$$l/d = \frac{15(12)}{3\frac{1}{2}} = 51.4$$

This exceeds limit of 50 so bracing is needed in this plane.

In plane parallel to narrow face

$$l/d = \frac{5 \times 12}{2\frac{1}{2}} = 24.0$$

In plane parallel to wider face

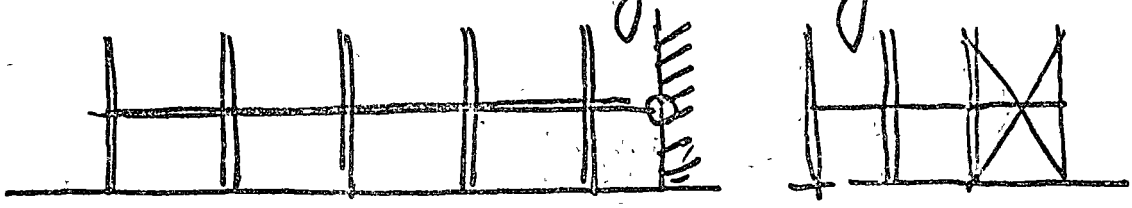
$$l/d = \frac{7.5 \times 12}{3\frac{1}{2}} = 25.7$$

The larger ratio governs.

6-6 Determination of l/d ratio for a 3x4 S4S with different bracing plans

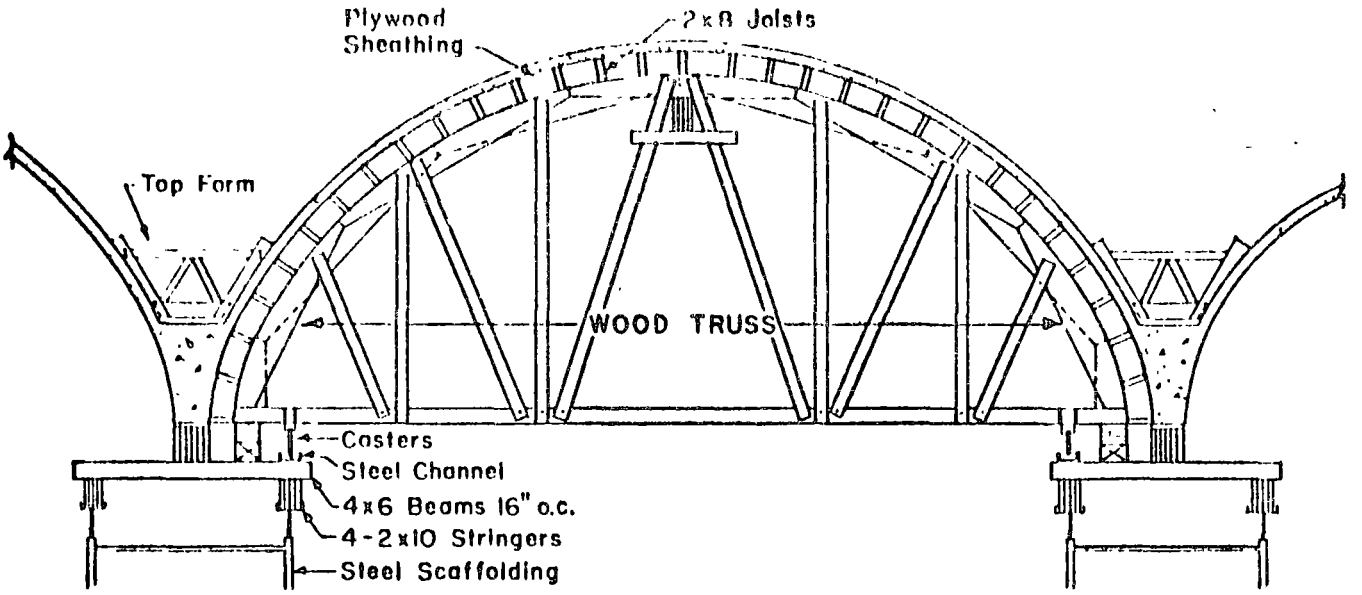
La rigidización transversal debe anclarse en algo rígido.

Fig 26



Los pies derechos se deben calcular como columnas articuladas con carga axial. El hecho de que los apoyos no sean propiamente arti-

CIMBRA CASCARON CILINDRICO

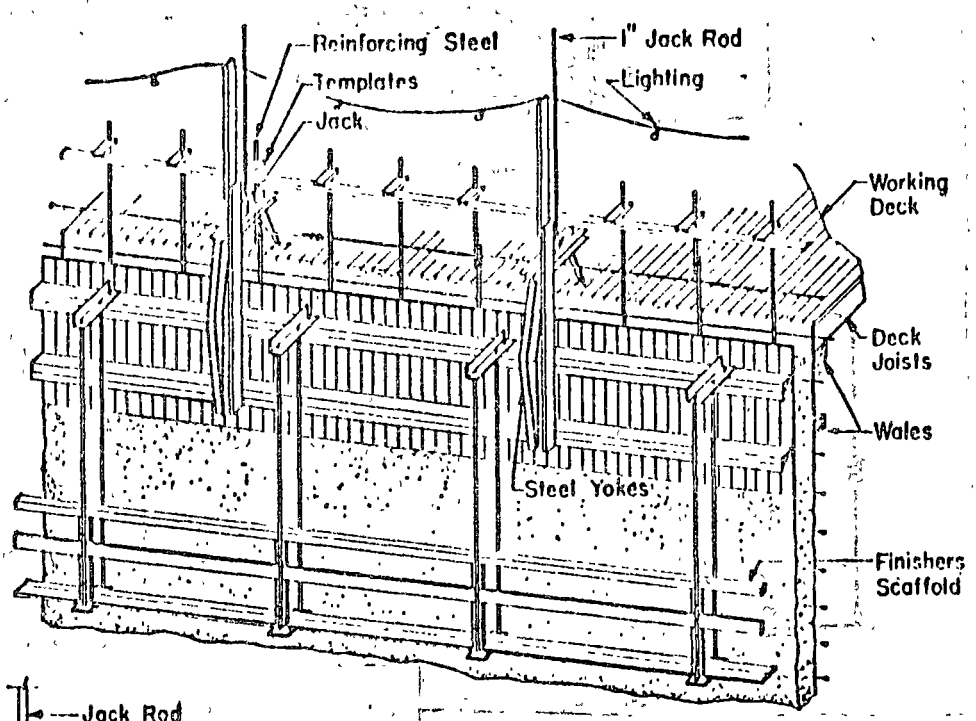


12-9 Cross section through shell roof, indicating the construction of forms shown in 12-8. The 2x8 joists resting on bowstring trusses supported plywood sheathing bent to curvature of the shell.

Fig 27

47

CIMBRA DESLIZANTE



15-4 Typical slip form with deck and finishing scaffold supported on wales. Templates for positioning reinforcing bars are indicated.

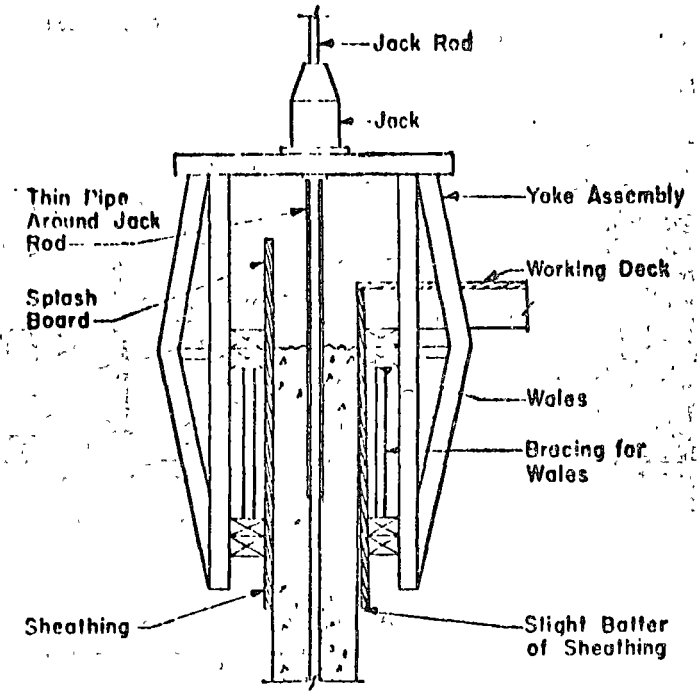
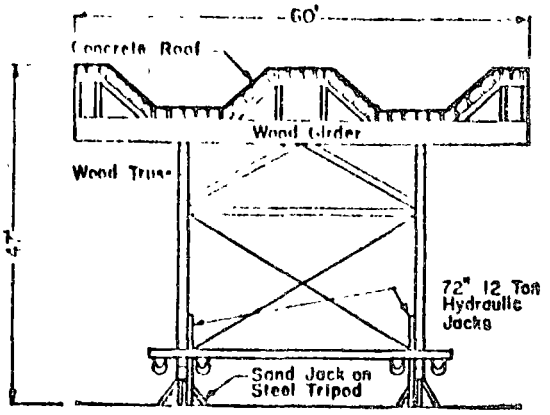


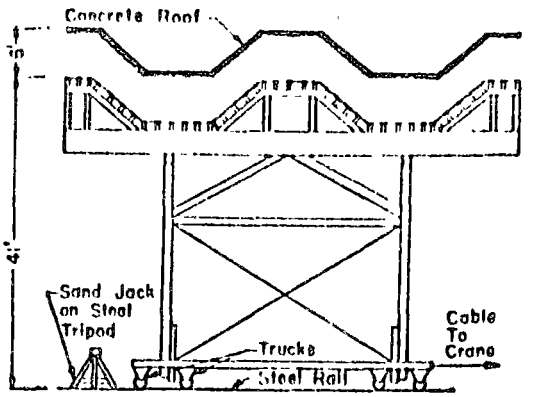
Fig 28

15-5 Cross section (schematic) of slip form. If the jack rod is to be salvaged, a thin pipe encasing the rod, attached to yoke or jack, moves up with the forms and prevents bonding of the rod to concrete. This leaves the jack rod standing free in a hole in the hardened concrete and it can be pulled when the slide is completed. Slight batter of sheathing

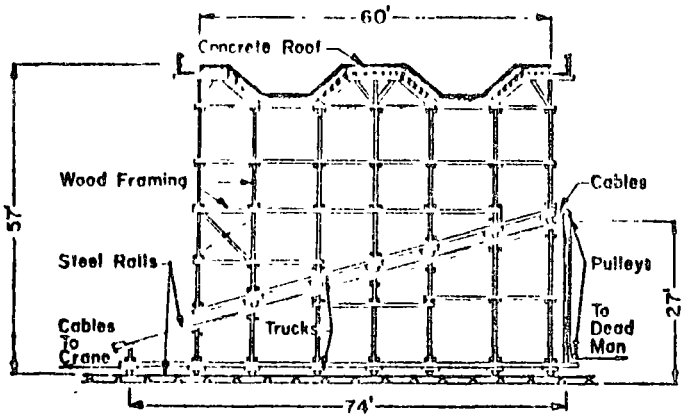
CIMBRAS ESPECIALES



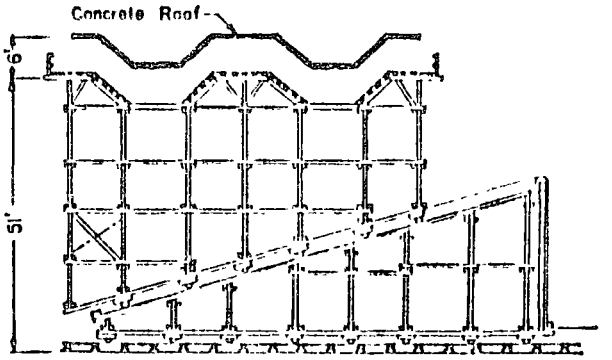
FORMS UP



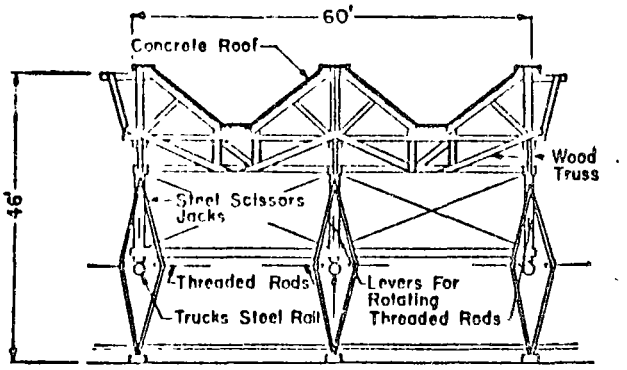
FORMS DOWN



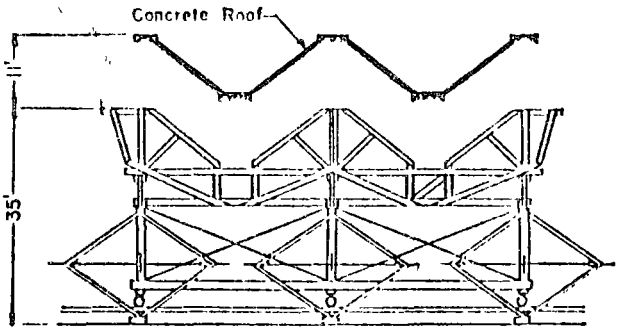
FORMS UP



FORMS DOWN



FORMS UP

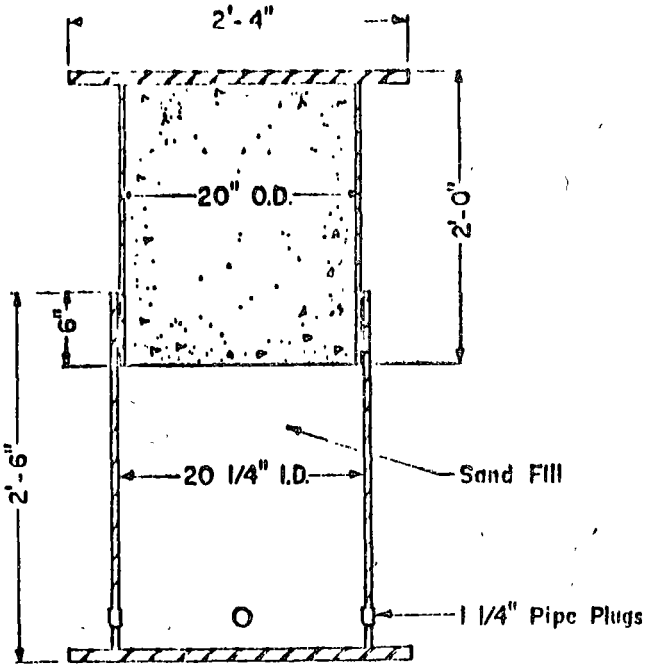


FORMS DOWN

15-19 Traveling formwork designs vary widely, as shown by three different methods of vertical form movement for essentially similar folded plate hangar roofs. TOP—Glue-laminated wood falsework was raised 6 ft with 12-ton hydraulic jacks, one on each of eight columns, then shored on tripods during concrete placement. Forms were lowered the same way, except that the first 4½ in. of drop was made by draining sand jacks atop the tripods. CENTER—Wood framed traveler made in two parts with an inclined plane as the common face between top and bottom sections. To raise the roof forms 6 ft, the bottom section was forced under the top section which was guyed to prevent lateral motion. BOTTOM—Wood falsework raised and lowered about 12 ft with scissors jacks which carry total load including fresh concrete when the forms are up. With forms down, the structure rests on wood posts and jacks hang free. (Reprinted from *Engineering News-Record*, 1958, McGraw-Hill Publishing Co., Inc.)

Fig (29)

GATO DE ARENA

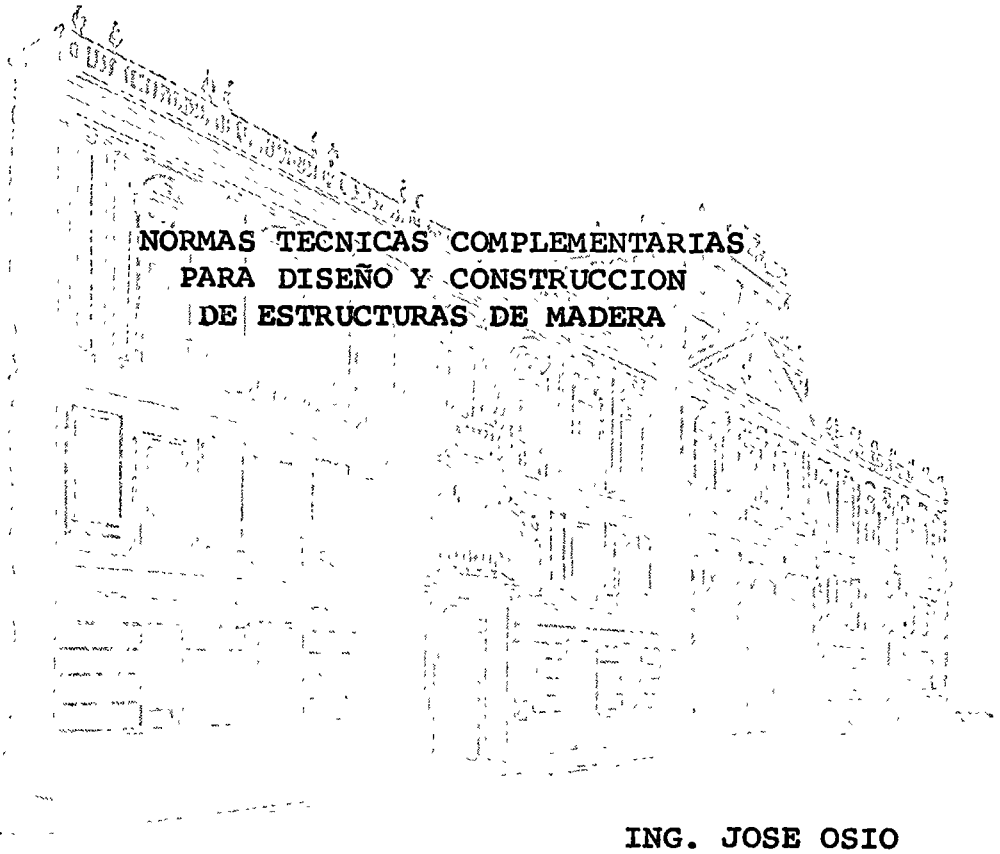


9-102 Sand jack consists of concrete-filled piston and sand-filled cylinder. Useful for slowly lowering heavy loads; motion can be stopped by replugging holes at the base.

Fig 39

centro de educación continua
división de estudios superiores
facultad de ingeniería, unam

PROYECTO Y USOS ESTRUCTURALES DE LA MADERA



NORMAS TECNICAS COMPLEMENTARIAS PARA DISEÑO Y CONSTRUCCION DE ESTRUCTURAS DE MADERA

ING. JOSE OSIO

JUNIO DE 1976.

Palacio de Minería Tacuba 5, primer piso. México 1, D. F. Tels: 521-40-23 521-73-35 5123-123

DEFINICIONES Y NOTACION

Contenido de humedad (CH), peso original menos peso anhidro dividido entre peso anhidro y expresado en %

Condición verde (C.V.), cuando el contenido de humedad es superior al 18%

Dimensiones finales, dimensiones del elemento estructural correspondientes a condiciones de trabajo

γ Densidad relativa de la muestra con base en su peso anhidro y su volumen a un C.H. mayor del 30%

f_{b_p} esfuerzo permisible en flexión

f_{b_t} esfuerzo permisible en tensión

f_{c_p} esfuerzo permisible en compresión paralela a las fibras

f_{n_p} esfuerzo permisible en compresión normal a las fibras

f_{θ_p} esfuerzo permisible en compresión inclinada un ángulo θ con respecto a las fibras

v_p esfuerzo permisible en cortante

E módulo de elasticidad

δ_p deflexión permisible

f_{b_d} esfuerzo de diseño en flexión

f_{t_d} esfuerzo de diseño en tensión

f_{c_d} esfuerzo de diseño en compresión paralela a las fibras

f_{n_d} esfuerzo de diseño en compresión normal a las fibras

v_d esfuerzo de diseño en cortante

A área final de la sección transversal de elemento

A_n área neta de la sección transversal final del elemento

b, d	dimensiones transversales del elemento
C_f	factor de peralte
D	diámetro de un elemento de unión, en mm
d_1	dimensión mayor efectiva de la sección transversal del elemento, peralte efectivo en el caso de elementos en flexión
e	excentricidad de la fuerza normal
K	valor que depende de las condiciones de apoyo del elemento en compresión
L	claro, longitud libre de pandeo en columnas, longitud entre soportes laterales en vigas
M	momento flexionante máximo por cargas normales al eje longitudinal del elemento
N	número de elementos de unión
P	fuerza normal de compresión
P_1	carga lateral permisible de un clavo en una unión de 2 elementos
P_2	carga de extracción permisible de un clavo
P_3	carga lateral permisible de un tornillo en una unión de 2 elementos
P_4	carga de extracción permisible de un tornillo
P_5	carga lateral permisible de un perno en una unión de 3 elementos de madera cuyos ejes longitudinales están en la misma dirección
P_6	carga lateral permisible de un perno en una unión de 3 elementos de los cuales, los exteriores pueden ser de madera o de acero, y cuyos ejes longitudinales están en dirección normal con respecto al central.
S	módulo de sección del elemento
T	fuerza de tensión
t	espesor del elemento principal (elemento central en una unión de 3 elementos) en mm
V	fuerza cortante en la sección considerada

25 II 76

2 a

β factor de amplificación debido a deformaciones secundarias

θ ángulo entre 2 elementos

El diseño de elementos estructurales no cubiertos por estas Normas, como madera laminada, elementos en cajón, etc, deberá ser aprobado por el Departamento

1. GENERALIDADES

1.1 Alcance

Estas disposiciones son aplicables a elementos estructurales de madera maciza de cualquier especie, cuya densidad relativa, γ, sea superior a 0.30.

1.2 Clasificación

La madera deberá estar clasificada de acuerdo con la Norma C 18-46, expedida por la Dirección General de Normas de la Secretaría de Industria y Comercio, o alternativamente de acuerdo con las figuras I y II y las tablas I y II de estas disposiciones.

1.3 Diseño

El diseño estructural se hará sobre la base de esfuerzos permisibles en condiciones de servicio (bajo las cargas nominales especificadas en el Reglamento).

BAJO ACCIONES PERMANENTES

2. ESFUERZOS PERMISIBLES Y MODULOS DE ELASTICIDAD PARA CONDICION PERMANENTE DE CARGA

2.1 Esfuerzos permisibles para madera clasificada según las Normas DGN C18-1946

Cuando la madera se clasifique como: selecta, de primera, de segunda o de tercera, de acuerdo con la citada norma, los esfuerzos permisibles correspondientes para cualquier especie serán los dados en la tabla 2.1.

TABLA 2.1

ESFUERZOS PERMISIBLES
en kg/cm^2; condición verde

Solicitación	Selecta	Primera	Segunda	Tercera
Flexión y Tensión	80	60	30	20
Compresión paralela a la fibra	70	50	25	17
Compresión perpendicular a la fibra	14	14	9	7
Cortante paralelo a la fibra	14	14	7	5
Módulos de elasticidad ($\times 10^3$) medio	70	70	70	70

Cuando se use madera estructural en forma permanente, no se emplea-tá con calidad inferior a la segunda.

2.2 Esfuerzos permisibles para madera clasificada estructuralmente en forma visual

2.2.1 Esfuerzos permisibles para todas las especies

Los esfuerzos permisibles para madera clasificada como V-75, V-65, V-50 ó V-40, considerando la localización y las dimensiones máximas de los defectos de la madera de acuerdo a las figuras I y II con las tablas I y II, serán los dados en la tabla 2.2.

TABLA 2.2

ESFUERZOS PERMISIBLES
en kg/cm^2; Condición verde

Solicitación		V-75	V-65	V-50	V-40
Flexión y Tensión		80	70	50	40
Compresión paralela a la fibra		60	50	40	30
Compresión perpendicular a la fibra		12	12	11	11
Cortante paralelo a la fibra		11	9	7	6
Módulos de elasticidad (x 10^3)	medio	70	70	70	70
	mínimo	40	40	40	40

Se podrán usar valores diferentes a los dados en la tabla 2.2 siempre y cuando se demuestre a satisfacción del Departamento del Distrito Federal que dichos valores satisfacen los requisitos de seguridad implícitos en esta Norma.

3. CONDICIONES DE SERVICIO

3.1 Contenido de humedad

De tratarse de elementos estructurales con un C.H. menor del 18% los esfuerzos permisibles se obtendrán incrementando los dados anteriormente para elementos en condición verde en los siguientes porcentajes: 10% para flexión y tensión, 20% para compresión paralela a la fibra y 50% para compresión normal a la fibra. El módulo de elasticidad se podrá incrementar 10%.

Cuando el elemento estructural se instale en condición verde cambiando en servicio a un C.H. menor del 18% o viceversa, se diseñará basándose en esfuerzos y dimensiones finales de acuerdo con el contenido de humedad que tendrá en servicio y considerando el valor mínimo del módulo de elasticidad en condición verde.

Los elementos con dimensiones transversales mayores de 15 cm x 15 cm se diseñarán usando esfuerzos y dimensiones finales para la madera en condición verde.

3.2 Duración de carga

Para otras condiciones de carga se podrán incrementar los esfuerzos permisibles en los siguientes porcentajes: para carga viva 15%, para nieve o granizo 25%, para viento y sismo 50% y para impacto 100%.

No se incrementarán los módulos de elasticidad debido a esta condición de servicio.

3.3 Redistribución de carga en pisos y techos

En sistemas constructivos en los cuales el espaciamiento máximo de los elementos que soportan en conjunto las cargas verticales sea de 60 cm, se permitirá incrementar en 20% los esfuerzos permisibles especificados y emplear el valor medio del módulo de elasticidad.

Los sistemas de piso y techo se considerarán integrados por vigas y cubierta. Para el diseño de la cubierta no será necesario considerar una carga viva de diseño, w_m superior a la que corresponde a un área tributaria de 25 m^2 (véase Capítulo XXXVI del Reglamento).

Para las vigas, el área tributaria A, por considerarse en la obtención de las cargas vivas nominales unitarias especificadas en el Capítulo XXXVI del Reglamento, será:

a) 10 veces el área tributaria del elemento cuando el valor de "a" sea menor o igual que 0.1

b) 5 veces el área tributaria del elemento cuando el valor "a" sea mayor de 0.1 y menor o igual que 1.0

c) 2 veces el área tributaria del elemento cuando el valor "a" sea mayor de 1.0

El valor de "a" se determinará como sigue:

$$a = \left[\frac{s^3}{L^3} \cdot \frac{E_v \quad I_v}{E_c \quad I_c} \right]$$

en que: L claro

a relación de la rigidez de la cubierta a la de las vigas

s espaciamiento entre elementos de soporte (centro a centro)

$E_v I_v$ rigidez de cada unidad de soporte

E_c Módulo de elasticidad de la cubierta en sentido normal a la dirección de las vigas

$I_c = \frac{bt^3}{12}$

en donde:

I_c momento de inercia de la cubierta

b dimensión de la cubierta en dirección de los elementos de soporte

t espesor de la cubierta

El área tributaria A no podrá ser mayor que el área total de la cubierta.

3.4 Impregnación por presión y/o temperatura

Los esfuerzos permisibles, en condición verde, quedarán reducidos en un 10% cuando la madera sea sometida a tratamiento por presión y/o temperatura.

4. DISEÑO DE ELEMENTOS ESTRUCTURALES

4.1 Aspectos generales

I Las fórmulas especificadas en este artículo se refieren a elementos de sección transversal constante, cuadrada o rectangular, a menos que se especifique otra geometría.

II Se clasificarán los elementos estructurales en macizos, compuestos y espaciados.

a) Elementos macizos son aquellos constituídos de una sola pieza

b) Elementos compuestos son aquellos constituídos por varias piezas cuyos ejes longitudinales están dispuestos paralelamente y conectados mediante elementos de unión. Ver figura III.

c) Elementos espaciados son los constituidos por dos o más piezas macizas separadas por bloques de madera.

4.2 Flexión y Compresión paralela ~~al grano~~ a las fibras

a) Se revisará que en la sección crítica de una pieza maciza se cumpla:

$$\frac{\dfrac{P}{A_n}}{f_{c_d}} + \frac{\dfrac{M}{S} + \dfrac{P}{A_n} \cdot \dfrac{6e\beta}{d_e}}{f_{b_d} \cdot C_f} \leq 1 \qquad (4.1)$$

en donde:

$$f_{c_d} = \frac{0.30E}{(K\,L/b)^2} \leq f_{c_p} \qquad (4.2)$$

KL/b relación máxima de esbeltez

$\beta = 1$ cuando $kL/b \leq \sqrt{0.3E/f_{c_p}}$

$\beta = 1.25$ cuando $kL/b > \sqrt{0.3E/f_{c_p}}$

K valor que depende de las condiciones de apoyo en los extremos del elemento. Dado en la tabla 4.1

e excentricidad de la carga P; $e_{min} = 0.1b$

d_e dimensión de la sección transversal en dirección de la excentricidad e.

$$C_f = 0.81\,\frac{d^2 + 922}{d^2 + 568}\,;\ d \text{ en cm},\quad C_f = 1 \text{ para } d \leq 30 \text{ cm}$$

$$f_{b_d} = f_{b_p},\ \text{cuando } C_s \leq 10;\ C_s = 1.4\sqrt{\frac{d.L}{b^2}}$$

$$f_{b_d} = f_{b_p}\left[1 - \frac{1}{3}\left(\frac{C_s}{C_k}\right)^4\right],\ \text{cuando } 10 < C_s \leq C_k = \sqrt{\frac{3}{5}\,\frac{E}{f_{b_p}}}$$

$$f_{b_d} = \frac{0.40\,E}{C_s^2},\ \text{cuando } C_k < C_s \leq 50$$

TABLA 4.1

Valores de K

condiciones de apoyo en los extremos del elemento	K
los dos fijos, sin desplazamiento lateral	0.65
uno fijo y un articulado, sin desplazamiento lateral	0.80
los dos fijos, con desplazamiento lateral	1.20
los dos articulados, sin desplazamiento lateral	1.00
uno fijo y otro libre	2.00

Las piezas macizas sujetas sólo a flexión o a compresión, se diseñarán de acuerdo con la fórmula general anterior, considerando los términos que correspondan en cada caso.

b) La capacidad en flexo-compresión de un elemento compuesto es igual a la de un elemento macizo de igual sección transversal multiplicada por el factor correspondiente dado en la tabla 4.2.

TABLA 4.2

L/b	factor
2	0.88
6	0.82
10	0.77
14	0.71
18	0.65
22	0.74
26	0.82
30	0.91
34	0.99

130) En la tabla 4.2. b es la dimensión transversal del elemento en la dirección analizada

Los detalles constructivos se dan en la figura III

c) Los elementos espaciados sujetos a compresión axial y flexión en la dirección de la mayor dimensión de las piezas componentes, se diseñarán conforme a la fórmula 4.1. El valor de f_{c_d} será el menor de los siguientes:

1. El dado por la fórmula 4.2, donde L es la distancia entre separadores, b el espesor de una de las hojas y K=1.
2. El dado por la fórmula 4.2 considerando la posibilidad de pandeo de la sección espaciada alrededor del eje x - x. En este caso b será igual a la dimensión de la sección ~~de la sección~~ transversal medida paralelamente al eje y - y y L será la longitud total de la columna.
3. El dado por la fórmula 4.2 considerando la posibilidad de pandeo de la sección espaciada alrededor del eje y - y. En este caso b será la dimensión total de la sección transversal medida paralelamente al eje x - x y L será la longitud total de la columna multiplicada por los factores de la tabla 4.3

Para los casos 2 y 3, K se tomará de la tabla 4.1

TABLA 4.3

elementos de unión \ a/b	1	2	3
clavos	2.6	3.1	3.5
tornillos o pernos	2.4	2.8	3.1
conectores	1.8	2.2	2.4

La longitud de los separadores estará en función del número de elementos de unión y espaciamiento mínimos entre éstos. El número de elementos de unión en los extremos será tal que transmitan una fuerza cortante entre caras de contacto de las piezas y los separadores igual a:

$$V = \frac{1.5 \times \text{fuerza total de compresión}}{\text{número de piezas macizas componentes (sin separadores)}} \qquad (4.3)$$

Además, la longitud de los separadores extremos no será menor de 6 veces el espesor de una de las piezas.

El número de separadores intermedios será tal que la máxima relación de la distancia entre centros de gravedad de grupos de elementos de unión al espesor de una pieza componente sea menor o igual a 20. Ver figura IV.

El número de elementos de unión en los separadores intermedios será la cuarta parte del correspondiente en los separadores extremos.

d) La capacidad de un elemento macizo de sección circular se considerará igual a la de un elemento de sección cuadrada de igual área transversal. Si el elemento es troncónico se considerará, para fines de estabilidad, las características geométricas de la sección transversal situada a un tercio de la longitud desde el extremo reducido. Se revisará que el esfuerzo de compresión actuante en el extremo reducido no exceda al permisible.

4.3 Flexión y tensión paralela a las fibras

Se revisará que en la sección crítica de un elemento macizo, compuesto o espaciado, este último con el plano de flexión paralelo a las caras de mayor dimensión, se cumplan las expresiones (4.4) y (4.5).

$$\frac{\frac{T}{A_n}}{f_{t_p}} + \frac{\frac{M}{S}}{f_{b_p} \quad C_f} \leq 1 \qquad (4.4)$$

$$\frac{\frac{M}{S}}{f_{b_d} \quad C_f} - \frac{\frac{T}{A_n}}{f_{t_p}} \leq 1 \qquad (4.5)$$

Las piezas sólidas compuestas o espaciadas sujetas sólo a tensión, se diseñarán de acuerdo con la fórmula 4.4, considerando los términos que correspondan.

4.4 Cortante paralelo a las fibras

Se revisará que en la sección a un peralte del apoyo, del elemento estructural sometido a flexión, se cumpla:

$$\frac{3}{2} \cdot \frac{V}{A} \leq v_p \qquad (4.6)$$

Además, en elementos a flexión con rebajos en su parte inferior y en contacto con el apoyo, el esfuerzo cortante horizontal determinado de la siguiente manera no será mayor que el esfuerzo cortante permisible:

$$\frac{3V}{2bd_1} \cdot \frac{d}{d_1} \leq v_p \qquad (4.7)$$

en donde d_1 = peralte rebajado

4.5 Compresión perpendicular a las fibras

En situaciones en que la madera esté sometida a este tipo de esfuerzo, se revisará que el esfuerzo actuante no sobrepase el esfuerzo permisible.

En el caso de apoyos de menos de 15 cm de largo localizados a más de 8 cm del extremo del elemento, se permitirá incrementar el esfuerzo permisible de acuerdo con la tabla 4.4.

TABLA 4.4

longitud de apoyo (cm)	incremento %
1.5	75
2.5	38
4.0	25
5.0	19
8.0	13
10.0	10
15.0	00

4.6 Compresión en dirección inclinada con respecto a las fibras

El esfuerzo permisible en compresión a un ángulo θ con la dirección de las fibras, está dado por

$$f_{\theta_p} = \frac{f_{c_p}}{1 + \left(\frac{f_{c_p}}{f_{n_p}} - 1 \right) \operatorname{sen}^2\theta} \qquad (4.8)$$

4.7 Deflexiones

La obtención del valor de la flecha se hará empleando las fórmulas usuales de resistencia de materiales.

En la sección 3 se dan los ajustes a E por consideraciones de servicio.

5. UNIONES

5.1 Aspectos generales

1) Elementos de unión

Los elementos de unión a considerar serán clavos, tornillos (incluyendo pijas) pernos y conectores.

2) Capacidad de un elemento de unión ante carga permanente acciones

Las distancias entre elementos de unión adyacentes, de éstos a los extremos y a los bordes de los miembros por unir, sean serán como mínimo las dadas en el inciso correspondiente.

3) Capacidad de carga de un grupo de elementos de unión

Será la suma de las capacidades de carga de las unidades que forman el grupo.

Las capacidades de carga dadas posteriormente en esta sección serán aplicables siempre y cuando las

4) Otras condiciones de carga

Para otras condiciones de carga se podrán incrementar las capacidades de carga de acuerdo con la siguiente tabla.

TABLA 5.1

Incrementos a las capacidades de carga permisibles (%)

condición de carga / tipo de conector	carga viva	nieve o granizo	viento o sismo	impacto
pernos con $t/D \geq 6$, clavos y tornillos	8	13	25	50
pernos con $t/D < 6$ y anillos conectores	15	25	50	100

5) Contenido de humedad

Las cargas permisibles dadas posteriormente son aplicables a uniones con un contenido de humedad superior al 18% o a uniones que quedarán expuestas a la intemperie, a menos que se especifique otra cosa.

Para uniones hechas en madera con un contenido de humedad menor al 18% y que permanecerán durante servicio con el mismo contenido de humedad aproximadamente, las cargas permisibles podrán incrementarse un 40%.

La carga lateral permisible para uniones (usando elementos de unión múltiples) hechos con madera en C.V. que en servicio quedará con un C.H. menor del 18%, en que los elementos componentes estén a un ángulo θ ($45 \leq \theta \leq 90°$) entre

sí, se obtendrá de multiplicar la dada para el tipo de unión en consideración por 0.7. En caso de usarse placas metálicas que restrinjan las contracciones de la madera en dirección normal a las fibras, debido al secado en servicio, se aplicará el mismo factor.

5.2 Uniones clavadas

5.2.1 Aspectos generales

1) Tipos de clavos

En este artículo se tratarán los clavos comunes fabricados con alambre de acero (alambre pulido).

2) Protección contra la corrosión

En uniones expuestas a la intemperie se deberán usar clavos protegidos contra la corrosión (galvanizados, etc).

5.2.2 Carga lateral permisible

La capacidad de carga en kg de una unión de dos miembros de madera en cortante simple hecha con un clavo hincado perpendicularmente a las fibras, está dada por la siguiente expresión

$$P_1 = 10\ \gamma\ D^{1.5} \qquad (5.1)$$

De no poder determinarse el valor de γ, úsese $\gamma = 0.4$

Para que la capacidad dada por la expresión anterior sea válida, la penetración de la punta del clavo en el miembro que la recibe debe ser cuando menos 14 veces el diámetro del clavo, y el miembro en contacto con la cabeza deberá tener cuando menos un espesor de 10 veces el diámetro del clavo, además deberán darse los siguientes espaciamientos mínimos:

10 VI 76

a) fibras:

10D entre hileras de clavos

5D de los bordes

20D de los extremos

20D entre clavos a lo largo de las fibras

10 VI 76 NO

b) Cuando la fuerza actúa normal a la dirección de las fibras:

10D entre hileras de clavos

5D del borde no cargado

10D del borde cargado

20D entre clavos a lo largo de las fibras

10 VI 76 (suprimir) (2 VI 76)

Cuando la penetración de la punta o el espesor del miembro en contacto con la cabeza sean menores que los especificados, la capacidad de carga se reducirá proporcionalmente.

Cuando los clavos se introduzcan en agujeros taladrados, los espaciamientos se podrán reducir a los valores correspondientes dados para tornillos. El diámetro de los agujeros no será mayor de 80% del de los clavos.

Cuando dos miembros de madera se unan con una placa metálica las cargas permisibles dadas anteriormente podrán incrementarse en un 25%.

La carga lateral permisible para clavos hincados en el extremo de un miembro, paralelamente a las fibras, será el 60% de la correspondiente a la de los hincados normalmente a éstas.

2 p. 6

En uniones con más de un plano de cortante (3 o más elementos), su capacidad estará dada por el producto de la capacidad de una unión sencilla multiplicada por 0.9n, en que n es el número de planos de cortante. Cada uno de los miembros tendrá un espesor no menor de las dos terceras partes del especificado para el miembro que recibe la punta en una unión sencilla.

5.2.3 Carga permisible a la extracción

Los clavos sujetos a cargas de extracción tendrán una capacidad en kg por centímetro de penetración en la pieza que contenga la punta de:

$$P_2 = 11\,\gamma^{5/2}\,D \qquad (5.2)$$

De no poder determinarse el valor de γ, úsese $\gamma = 0.4$

Estas cargas permisibles son aplicables a uniones hechas con madera seca o en condición verde que no sufra cambios de humedad.

No se permitirá el empleo de clavos hincados paralelamente a las fibras sujetos a carga de extracción.

En caso de usarse clavos cuya caña no sea lisa, su capacidad a la extracción se determinará mediante pruebas.

Los espaciamientos mínimos para los clavos serán los correspondientes al caso de carga lateral cuando la fuerza actúa en dirección de las fibras.

5.3 Uniones con tornillos para madera

5.3.1 Aspectos generales

1) Las cargas permisibles dadas a continuación se aplicarán a tornillos de acero para madera, de cabeza plana, ovalada o redonda.

2) Los diámetros a ser usados en las expresiones de capacidad de carga serán los que correspondan a la caña lisa.

3) Los agujeros para recibir los tornillos tendrán los siguientes diámetros: el de la caña lisa para recibir a ésta y las 2/3 partes del de la caña lisa, como máximo, para recibir la parte roscada.

5.3.2 Carga lateral permisible

En uniones con un sólo plano de cortante, en las que el tornillo sea insertado perpendicularmente a las fibras, la capacidad de carga en kg, esta dada por:

$$P_3 = 3.75\ \gamma\ D^2 \qquad (5.3)$$

De no poder determinarse el valor de γ, úsese $\gamma = 0.4$

Estas capacidades de carga serán aplicables cuando los tornillos sean insertados mediante rotación en agujeros hechos previamente, la penetración del tornillo en el miembro que recibe la punta sea igual a 7 veces el diámetro de la caña lisa y los espaciamientos mínimos de los tornillos sean los siguientes:

1) Cuando la fuerza actúa en la dirección de las fibras:

3D entre hileras de tornillos

5D de los bordes

10D entre tornillos adyacentes en la dirección de las fibras

10D de los extremos

2) Cuando la fuerza actúa normal a la dirección de las fibras:

10 VI 76

NO

5D entre hileras de tornillos

5D del borde no cargado

10D del borde cargado

10 VI 76

NO { 10 D entre tornillos adyacentes en la direccion de las fibras.

Para tornillos insertados a una menor distancia en el miembro que recibe la punta, insertados paralelamente a las fibras, utilizados en uniones con placas metálicas y en uniones con más de un plano de cortante, la capacidad de carga se modificará siguiendo los mismos criterios que se establecieron para los clavos.

5.3.3 Carga permisible a la extracción

Los tornillos sujetos a cargas de extracción tendrán una capacidad en kg por centímetro de penetración de la caña roscada en la pieza que contenga la punta de:

$$P_4 = 15\ \gamma^2 D \qquad (5.4)$$

De no poder determinarse el valor de γ, úsese $\gamma = 0.4$

Esta expresión será válida cuando los espaciamientos mínimos para los tornillos sean los correspondientes al caso de carga lateral, la fuerza sea paralela con las fibras y la resistencia del tornillo a la tensión no se sobrepase.

La capacidad a la extracción de un tornillo insertado paralelamente a las fibras será el 75% de la correspondiente al insertado perpendicularmente a ellas. La distancia entre tornillos no será menor de 10D.

5.4 Uniones con pernos

5.4.1 Aspectos generales

1) Las disposiciones siguientes se aplicarán a pernos de acero. Se usarán tuercas y roldanas para completar la unión.

2) Los diametros de los agujeros no excederán en más de 1.6 mm a los de los pernos.

5.4.2 Carga lateral permisible para uniones con un perno

5.4.2.1 Uniones en que los ejes longitudinales de los elementos por unir son colineales

o paralelos.

Se presentan los siguientes casos:

1.- Caso base. Es una unión de tres piezas, en que las exteriores tienen por lo menos la mitad del espesor de la pieza principal (pieza central); su capacidad en kg está dada por

$$P_5 = 1.12\gamma \cdot k_1 \cdot D \cdot t \qquad (5.5)$$

En caso de no determinarse el valor de γ, úsese $\gamma = 0.4$

k_1 se da en la tabla 5.2, en función de t/D

t es el espesor de la pieza principal

TABLA 5.2

Valores de k_1

t/D	k_1
1	1.00
2	1.00
3	1.00
4	0.97
5	0.88
6	0.76
7	0.65
8	0.57
9	0.51
10	0.46
11	0.41
12	0.38
13	0.35

II. En una unión de 3 piezas en que las piezas exteriores tengan un espesor menor de la mitad del de la pieza principal, la capacidad de carga estará dada por la del caso base en que t se tome como dos veces el espesor menor.

III. En una unión de 3 piezas en que las piezas exteriores sean de acero, la capacidad de carga estará dada por la del caso base incrementada en un 25% siempre y cuando no se sobrepasen los esfuerzos permisibles en las piezas de acero.

IV. En una unión de dos piezas, la capacidad de carga será la mitad de la del caso base, considerado t como dos veces el espesor de la pieza más delgada.

V. En una unión de más de 3 piezas de madera, la capacidad de carga será la suma de las capacidades de carga de la uniones componentes con un solo plano de cortante, resultantes de considerar las piezas intermedias divididas, cada una, a la mitad.

5.4.2.2 Uniones en que los ejes longitudinales de las piezas por unir están en 2 direcciones normales entre sí.

Caso Como base. Es una unión de 3 piezas, con las exteriores de acero o de madera con espesores de por lo menos la mitad del de la pieza principal, su capacidad de carga en kg está dada por

$$P_6 = 0.35\gamma \cdot k_2 \cdot k_3 \cdot D \cdot t$$

En caso de no determinarse el valor de γ, úsese $\gamma = 0.4$

k_2 y k_3 se dan en la tabla 5.3, en función de t/D y D respectivamente:

TABLA 5.3

Valores de k_2 y k_3

t/D	k_2	Dmm (pulgadas)	k_3
1	1.00	6.4 (1/4)	2.50
2	1.00	9.5 (3/8)	1.95
3	1.00	12.7 (1/2)	1.68
4	1.00	15.01 (5/8)	1.52
5	1.00	19.1 (3/4)	1.41
6	1.00	1.00 (7/8)	1.33
7	1.00	15.4 (1)	1.27
8	0.96	31.8 (1 1/4)	1.19
9	0.86	38.1 (1 1/2)	1.14
10	0.76	44.5 (1 3/4)	1.10
11	0.68	5.08 (2)	1.07
12	0.61	59.2 (2 1/3)	1.03
13	0.55	76.2 (3) y mayores	1.00

Para otros casos, se calcularán las cargas permisibles de acuerdo con el artículo anterior y considerando el caso base de este artículo.

5.4.2.3 Uniones en que los ejes longitudinales de las piezas por unir forman un ángulo (θ) entre sí.

La capacidad de carga de estas uniones se calculará usando la fórmula siguiente, en función de las capacidades de carga de dicha unión para $\theta = 0^o$ y

$\theta = 90°$, así como del ángulo θ.

$$P_7 = \frac{P_0}{1 + \left(\frac{P_{90}}{P_0} - 1\right) \operatorname{sen}^2 \theta}$$

P_0/P_{90}

Los espaciamientos mínimos para uniones con pernos son los siguientes:

I Cuando las fuerzas actúan en la dirección de las fibras:

4D entre pernos adyacentes en la dirección de las fibras

1.5D entre hileras de pernos

7D del extremo cargado

4D del extremo no cargado

1.5D de los bordes

II Cuando las fuerzas actúan normales a la dirección de las fibras

4D entre pernos adyacentes en la dirección de las fibras

4D de los extremos

4D del borde cargado

1.5D del borde no cargado

5D entre hileras de pernos para $t/D > 6$

2.5D entre hileras de pernos para $t/D = 2$

Se interpolará entre los dos últimos valores para $2 < t/D \leq 6$

5.5 Conectores

5.5.1 Generalidades

1. Definición

Los conectores para madera son elementos de unión que se colocan entre las caras de contacto de los elementos por unir.

II. Tipos de conectores

Los anillos abiertos son los únicos conectores que se tratarán aquí.

5.5.2 Anillos abiertos

Los anillos abiertos son de acero de bajo carbón forjado/ver fig V.

Se usarán pernos, tuercas y roldanas para impedir que se separen las superficies en contacto.

5.5.2.1 Fabricación

Se fabricarán de acuerdo con las Especificaciones SCOP 101-51 grado C-1015 o su equivalente y con los datos de la figura V.

5.5.2.2 Cargas permisibles

Las cargas permisibles en kg, por anillo, serán las dadas en la tabla 5.4.

TABLA 5.4

Cargas permisibles para anillos abiertos

Diámetro interior del anillo cm (pulgadas)	espesor del elemento cm (pulgadas)		capacidad de carga paralela a las fibras (kg)	capacidad de carga paralela a las fibras (kg)
	elemento con anillo en una cara	elemento con anillo en las dos caras		
6.35 (2 1/2)	2.2 (7/8)	3.5 (1 3/8)	445	302
	2.5 (1)	4.1 (1 5/8)	557	382
	——	4.8 (1 7/8)	620	430
perno 1.27 (1/2)	2.9 (1 1/8) o mayor	5.1 (2) o mayor	668	461
10.16 (4)	2.9 (1 1/8)	4.1 (1 5/8)	891	620
	——	4.8 (1 7/8)	986	684
perno 1.91 (3/4)	3.2 (1 1/4)	5.1 (2)	1018	716
	3.8 (1 1/2)	6.7 (2 5/8)	1241	859
	4.1 (1 5/8) o mayor	7.6 (3) o mayor	1273	891

Nota:

a) Para otros espesores interpólese

Estas capacidades se multiplicarán por el factor k_4 dado en la tabla 5.5 para considerar el efecto de las distancias entre los anillos, a los extremos y a los bordes de los elementos que forman la unión.

TABLA 5.5

Factor k_4

Tamaño del anillo cm (pulgadas)	S_1	S_2	S_3	S_4	S_5	S_6	k_4
	cm (pulgadas)						
6.35(2 1/2)	17 (6 3/4)	10 (4)	14(5 1/2)	5(1 3/4)	9(3 1/2)	7(2 3/4)	1.00
						5(1 3/4)	0.83
	9(3 1/2)						0.75
		6(2 1/2)	7(2 3/4)				0.62
10.16 (4)	23 (9)	14(5 1/2)	18 (7)	7(2 3/4)	13 (5)	10(3 3/4)	1.00
	13 (5)					7(2 3/4)	0.83
							0.75
		8(3 1/4)	9(3 1/2)				0.62

Nota: Para valores intermedios de espaciamientos, interpólese.

Definiciones.

S_1 distancia entre centros de anillos a lo largo de las fibras cuando la fuerza actúa paralela a las fibras.

S_2 distancia del centro del anillo extremo al extremo no cargado del elemento

S_3 distancia del centro del anillo extremo al extremo cargado del elemento

S_4 distancia del centro de un anillo al borde no cargado del elemento

S_5 distancia entre centros de anillos a lo largo de las fibras cuando la fuerza actúa normal a éstas, distancia entre centros de anillos normal a las fibras cuando la fuerza actúa paralela a las fibras

S_6 distancia del centro de un anillo al borde cargado del elemento.

5.5.2.3 Cargas permisibles cuando la fuerza actúa inclinada con respecto a la dirección de las fibras

La capacidad de carga para este caso se calculará usando la siguiente fórmula, en función de las capacidades de carga para $\theta = 0°$, $\theta = 90°$, así como del ángulo θ

$$P_8 = \frac{P_0}{1 + \left(\frac{P_{90}}{P_0} - 1\right) \operatorname{sen}^2 \theta}$$

$\frac{P_0}{P_{90}}$

7. EJECUCION DE OBRAS

7.1 Generalidades

Cuando la madera se use como elemento estructural permanente, deberá estar exenta de daños causados por agentes biológicos. Se podrán usar maderas selectas, de primera y de segunda clase o maderas con calidades equivalentes.

Cuando la madera se use como elemento estructural temporal podrá tener zonas aisladas afectadas biológicamente, siempre y cuando el daño pueda cuantificarse y se le considere en el diseño estructural. Se podrá usar madera hasta de tercera calidad o su equivalente.

7.2 Normas de calidad

La calidad de la madera se regirá por las tablas I y II correspondientes al inciso 2.2 o por la Norma DGN C18-1946.

7.3 Montaje

El montaje se hará de acuerdo con las recomendaciones del diseñador.

7.4 Contenido de humedad

Si por alguna razón la madera se humedece durante la construcción, el sellado de la estructura no se realizará antes que el contenido de humedad haya disminuido aproximadamente al valor que se consideró en el diseño.

7.5 Protección a la madera

Se cuidará que la madera esté debidamente protegida contra cambios de humedad, insectos, fuego, etc. Podrá protegérsele ya sea por medio de tratamientos químicos y/o recubrimientos apropiados.

La madera que vaya a quedar en contacto con el suelo, deberá ser protegida especialmente.

Deberán seguirse las indicaciones del fabricante de los productos protectores de la madera para garantizar su eficiencia.

No será necesario proteger obras temporales de madera cuya duración no exceda de 2 meses.

Cuando la madera haya sido tratada químicamente antes de la ejecución de la obra, cualquier corte realizado durante ésta deberá tratarse con productos químicos que den una protección equivalente a la del resto de la estructura.

7.6 Tolerancias

Las dimensiones de la sección transversal de un miembro no serán menores que las de proyecto en más de cinco por ciento.

TABLA 1.

Dimensiones máximas para nudos										
Ancho nominal de la cara del elemento		calidad estructural								
		V - 75			V-65			V-50		
		Nudos en el canto dentro del tercio medio de un elemento en flexión	Nudos en la zona central de un elemento en flexión o en cualquier cara de un elemento en compresión	Nudos en las aristas y en las zonas de borde dentro del tercio medio de un elemento en flexión o en cualquier, cara de un elemento en tensión	Nudos en el canto dentro del tercio medio de un elemento en flexión	Nudos en la zona central de un elemento en flexión o en cualquier cara de un elemento en compresión	Nudos en las aristas y en las zonas de borde dentro del tercio medio de un elemento en flexión o en cualquier, cara de un elemento en tensión	Nudos en el canto dentro del tercio medio de un elemento en flexión	Nudos en la zona central de un elemento en flexión o en cualquier cara de un elemento en compresión	Nudos en las aristas y en las zonas de borde dentro del tercio medio de un elemento en flexión o en cualquier, cara de un elemento en tensión
mm	pulg	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm
25.4	1	6	6	—	10	10	3	13	13	6
38.1	1-1/2	10	10	—	13	13	6	19	16	10
50.8	2	13	13	3	19	19	10	25	22	13
63.5	2-1/2	16	16	6	22	22	13	32	29	19
76.2	3	19	19	10	29	25	16	38	32	22
101.6	4	25	25	13	38	35	19	51	44	29
127.0	5	32	32	16	48	44	25	64	57	38
152.4	6	38	38	19	57	51	29	76	67	44
177.8	7	41	44	22	60	60	32	83	76	51
203.2	8	44	51	29	67	67	38	89	86	60
228.6	9	48	54	32	70	73	44	92	92	67
254.0	10	51	60	35	76	79	51	99	102	76
279.4	11	52	64	38	76	86	54	102	108	83
304.8	12	54	70	41	79	92	60	108	114	89

Notas

1.- La calidad estructural V-100 correspondería a la madera sin defectos.

2.- No se permitirá la presencia de dos o más nudos de dimensión máxima en un mismo tramo de 152 mm además, la suma de las dimensiones de todos los nudos, para el mismo tramo , no excederá dos veces la dimensión máxima para la cara de que se trate. Para elementos simplemente apoyados, sujetos a flexión, las dimensiones máximas para nudos en el canto, o en el borde, fuera del tercio medio, podrán incrementarse hasta un 100% en los extremos. Para posiciones intermedias, el incremento será proporcional.

Se sustituyó por otra más simplificación

TABLA 1. cont

Dimensiones máximas para nudos				
Ancho nominal de la cara del elemento		Calidad estructural		
		V-40		
		Nudos en el canto dentro del tercio medio de un elemento en flexión	Nudos en la zona central de un elemento en flexión o en cualquier cara de un elemento en compresión	Nudos en las aristas y en las zonas de borde, dentro del tercio medio de un elemento en flexión o en cualquier, cara de un elemento en tensión
mm	pulg	mm	mm	mm
25.4	1	16	16	10
38.1	1-1/2	22	19	13
50.8	2	32	25	16
63.5	2-1/2	38	32	22
76.2	3	44	38	25
101.6	4	57	51	32
127.0	5	70	64	41
152.4	6	83	76	48
177.8	7	89	83	54
203.2	8	95	95	64
228.6	9	99	102	70
254.0	10	102	108	79
279.4	11	105	108	86
304.8	12	111	121	92

TABLA II. Limitaciones a los defectos para calidades V-75, V-65, V-50 y V-40

TIPO DE DEFECTO	CALIDAD V-75	CALIDAD V-65	CALIDAD V-50	CALIDAD V-40
Velocidad de crecimiento (mínima)	16 anillos /5cmm	12 anillos /5cm	8 anillos / 5cm	8 anillos/5cm
fisuras o grietas (profundidad máxima) y bolsas de resinas	1/4 del espesor	1/3 del espesor	1/2 del espesor	3/5 del espesor
desviación de la fibra (no mayor de)	1 en 14	1 en 11	1 en 8	1 en 6
gema (no mayor de)	1/8 de cualquier cara	1/8 de cualquier cara	1/4 de cualquier cara	1/4 de cualquier cara

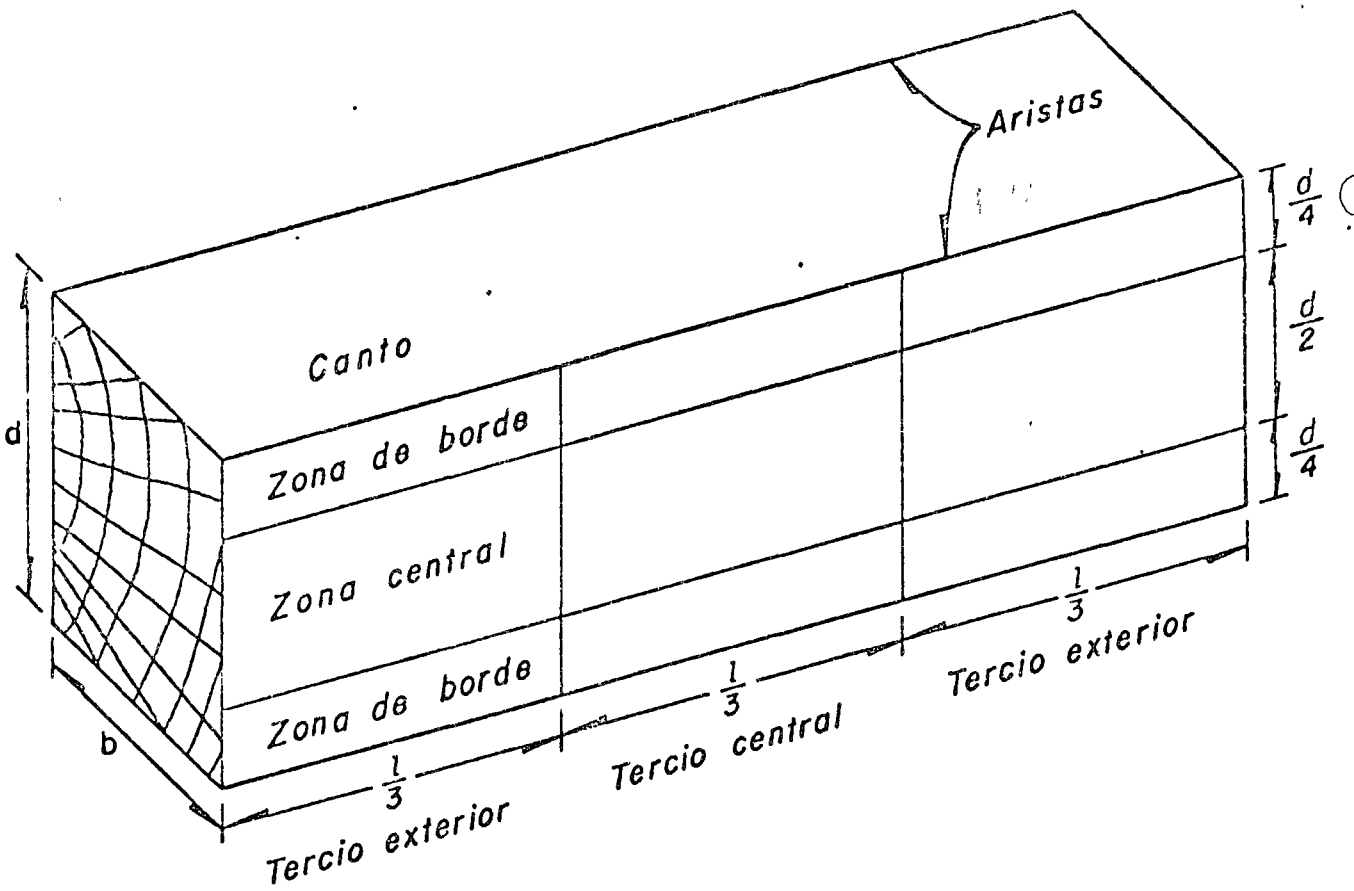


Fig I . Zonas, en un elemento a flexión para su clasificación estructural

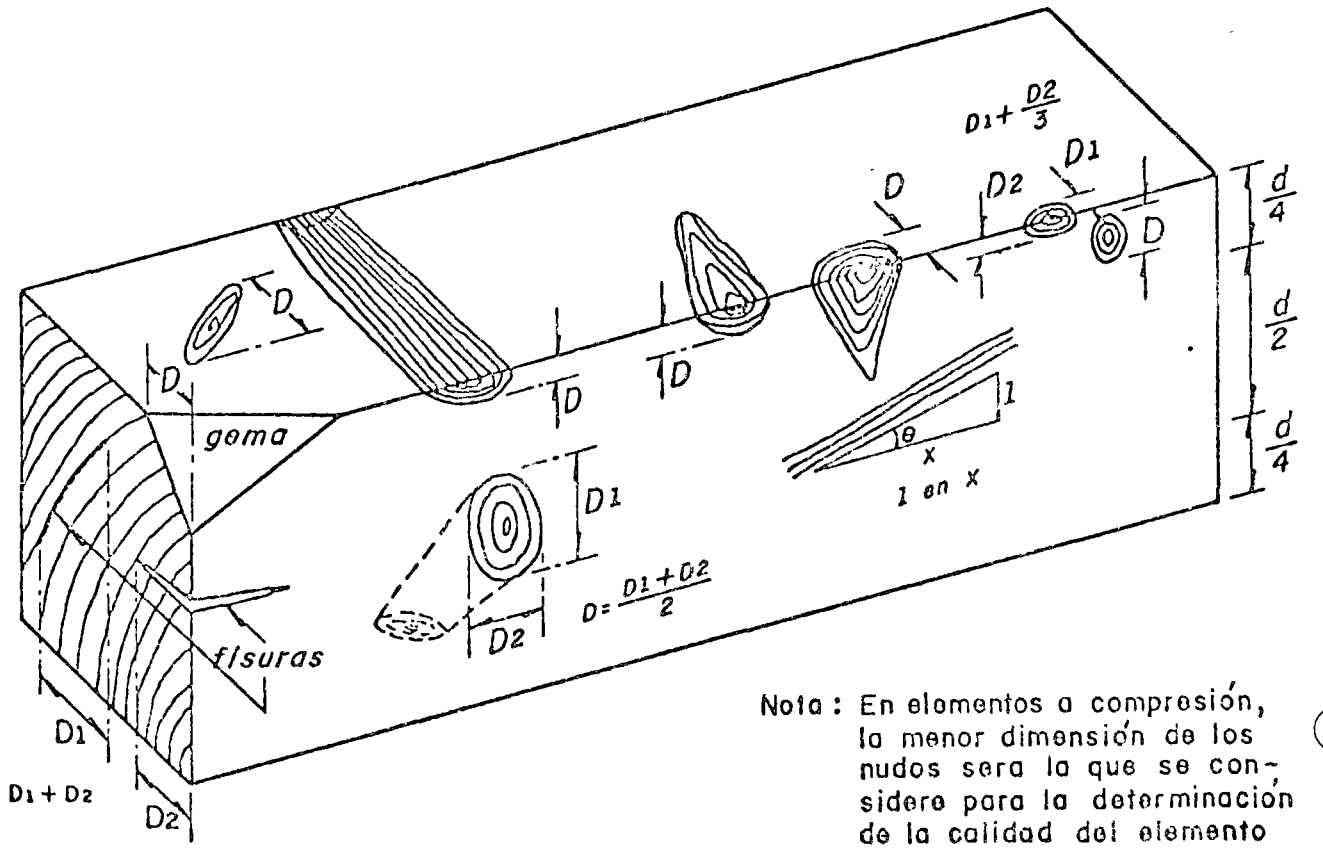


Fig II . Medición de nudos, inclinación de fibra , gema, velocidad

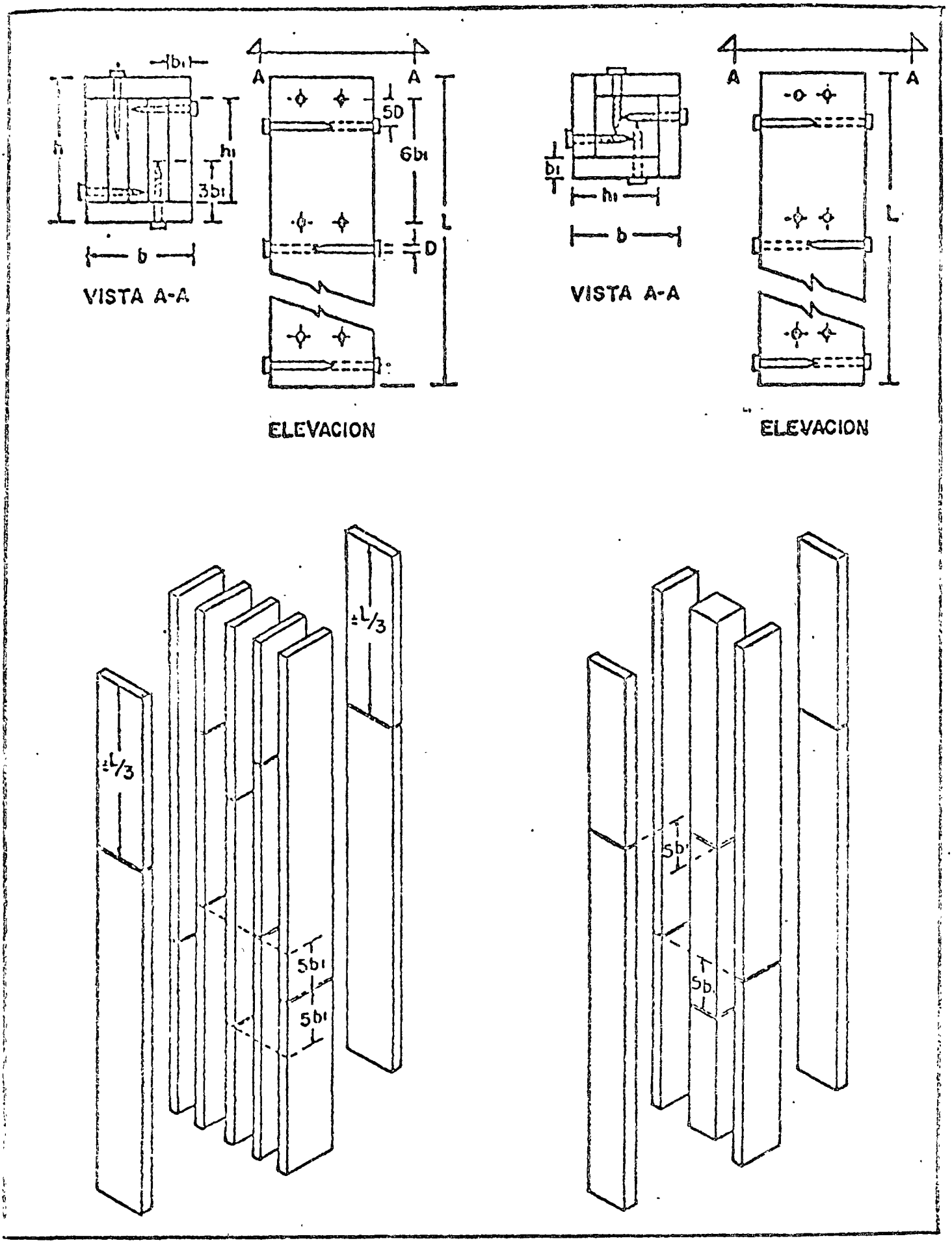
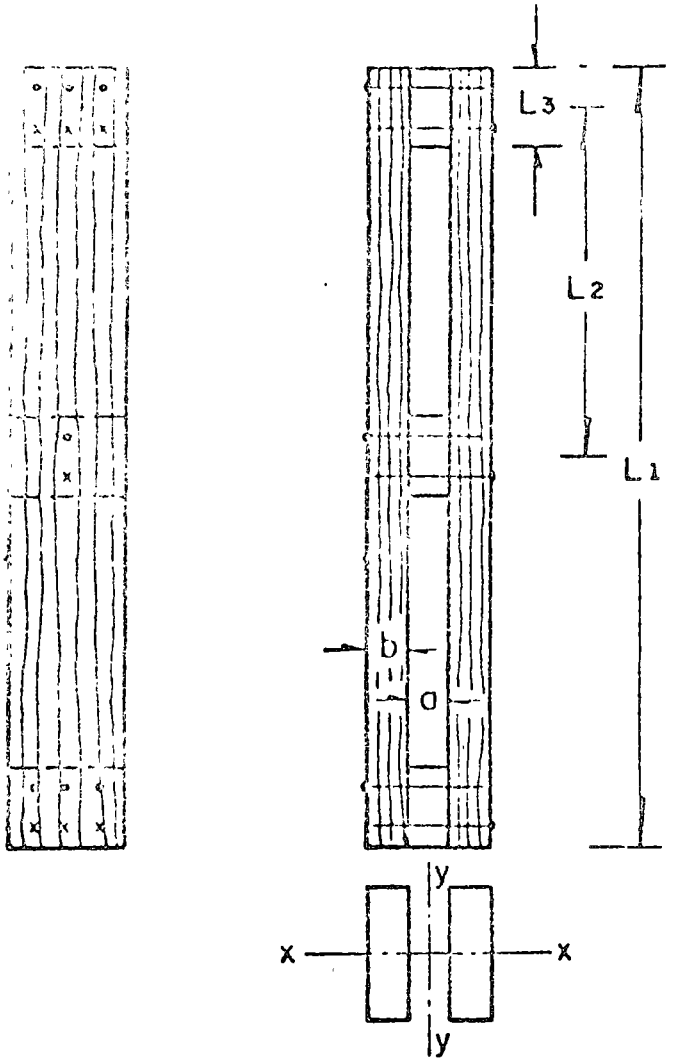


Fig III. Columnas compuestas. Datos constructivos

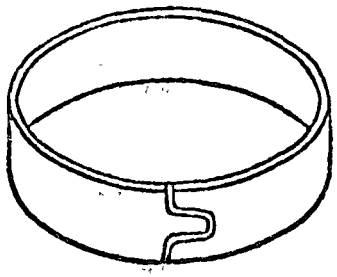


L_1 = longitud total

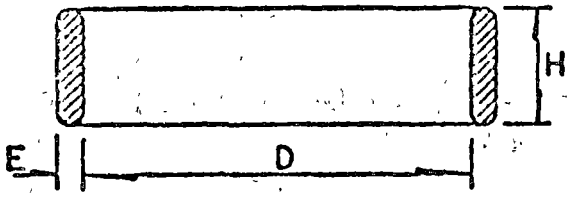
L_2 = distancia entre separadores . $L_2 \leq 20\,b$

L_3 = longitud del separador extremo . $L_3 \geq 6\,b$

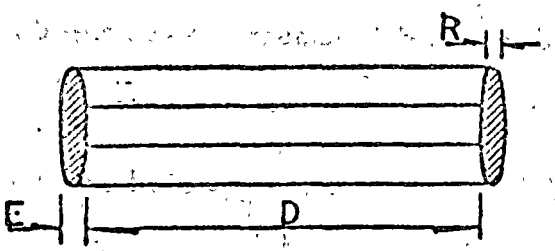
Fig IV . Columna espaciada empleando clavos ó tornillos



Anillo abierto



Anillo abierto con lados paralelos



Anillo abierto con rebajes en los lados

característica	Tamaño del anillo cm (pulgadas)		
	6.35 (2 1/2)		10.16 (4)
	con lados paralelos	con rebajes en los lados	con rebajes en los lados
D E H R	6.35 (2.500) 0.41 (0.163) 1.91 (0.750)	6.35 (2.500) 0.41 (0.163) 1.91 (0.750) 0.31 (0.123)	10.16 (4.000) 0.49 (0.193) 2.54 (1.000) 0.34 (0.133)
diámetro del perno (mínimo)	1.27 (0.500)	1.27(0.500)	1.91 (0.750)
rondana: diámetro (mínimo) espesor (mínimo)	5.10 (2.000) 0.32 (0.125)	5.10 (2.00) 0.32 (0.125)	6.35 (2.500) 0.48 (0.188)

Figura V . Datos para la fabricación de los anillos abiertos usados para uniones.

se sustituyó (25 II 76)

b,d	dimensiones transversales del elemento
C_f	factor de peralte
D	diámetro de un elemento de unión, en mm
d_1	dimensión mayor efectiva de la sección transversal del elemento, peralte efectivo en el caso de elementos en flexión
e	excentricidad de la fuerza normal
K	valor que depende de las condiciones de apoyo del elemento en compresión
L	longitud del elemento entre apoyos
M	momento flexionante máximo producido por cargas normales al eje longitudinal del elemento
N	número de elementos de unión
P	fuerza normal de compresión
P_1	carga lateral permisible de un clavo en una unión de 2 elementos
P_2	carga de extracción permisible de un clavo
P_3	carga lateral permisible de un tornillo en una unión de 2 elementos
P_4	carga de extracción permisible de un tornillo
P_5	carga lateral permisible de un perno en una unión de 3 elementos de madera cuyos ejes longitudinales están en la misma dirección
P_6	carga lateral permisible de un perno en una unión de 3 elementos de los cuales, los exteriores pueden ser de madera o de acero, y cuyos ejes longitudinales están en dirección normal con respecto al central
S	módulo de sección del elemento
T	fuerza de tensión
t	espesor del elemento principal (elemento central en una unión de 3 elementos) en mm
V	fuerza cortante en la sección considerada

se sustituyó (25 II 76)

La longitud de los separadores estará en función del número de elementos de unión y espaciamiento mínimos entre éstos. El número de elementos de unión en los extremos será tal que transmitan una fuerza cortante entre caras de contacto de las piezas y los separadores igual a:

$$N = \frac{1.5 \times \text{fuerza total de compresión}}{\text{número de piezas macizas componentes (sin separadores)}} \qquad (4.3)$$

Además, la longitud de los separadores extremos no será menor de 6 veces el espesor de una de las piezas.

El número de separadores intermedios será tal que la máxima relación de la distancia entre centros de gravedad de grupos de elementos de unión al espesor de una pieza componente sea menor o igual a 20. Ver figura IV.

El número de elementos de unión en los separadores intermedios será la cuarta parte del correspondiente en los separadores extremos.

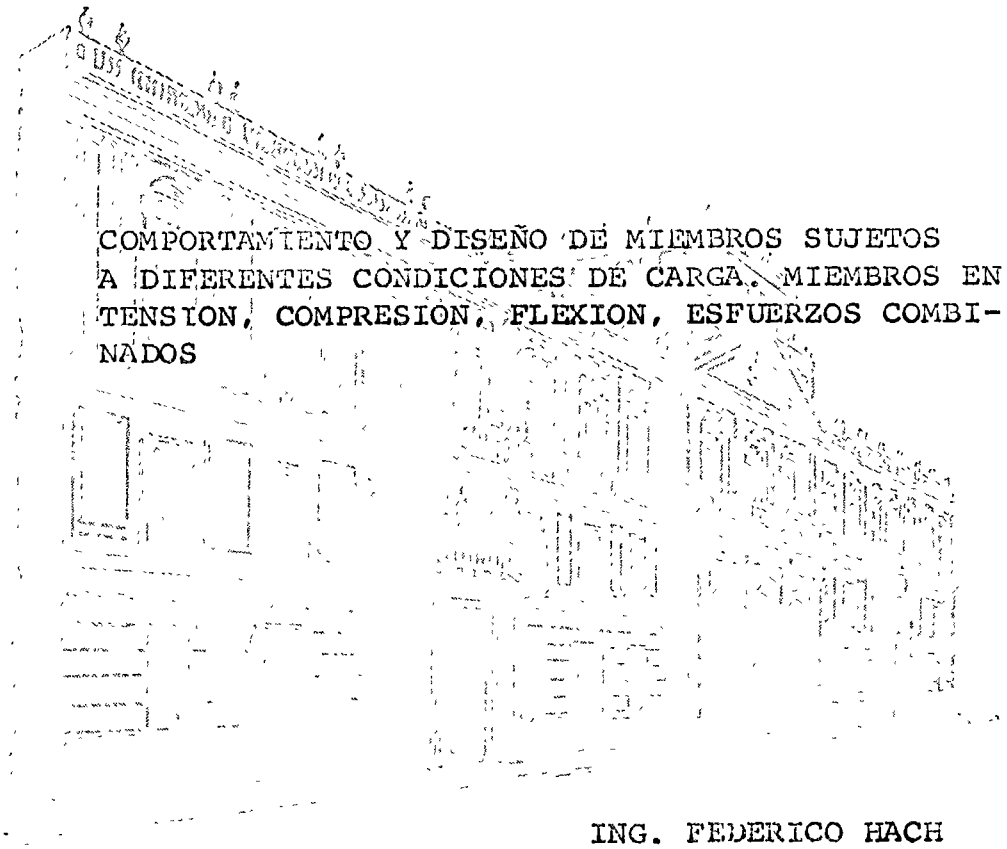
d) La capacidad de un elemento macizo de sección circular se considerará igual a la de un elemento de sección cuadrada de igual área transversal. Si el elemento es troncónico se considerará, para fines de estabilidad, las características geométricas de la sección transversal situada a un tercio de la longitud desde el extremo reducido. Se revisará que el esfuerzo de compresión actuante en el extremo reducido no exceda al permisible.

4.3 Flexión y tensión

Se revisará que en la sección crítica de un elemento macizo, compuesto o espaciado, este último con el plano de flexión paralelo a las caras de mayor dimensión, se cumplan las expresiones (4.4) y (4.5).

centro de educación continua
división de estudios superiores
facultad de ingeniería, unam

PROYECTO Y USOS ESTRUCTURALES DE LA MADERA

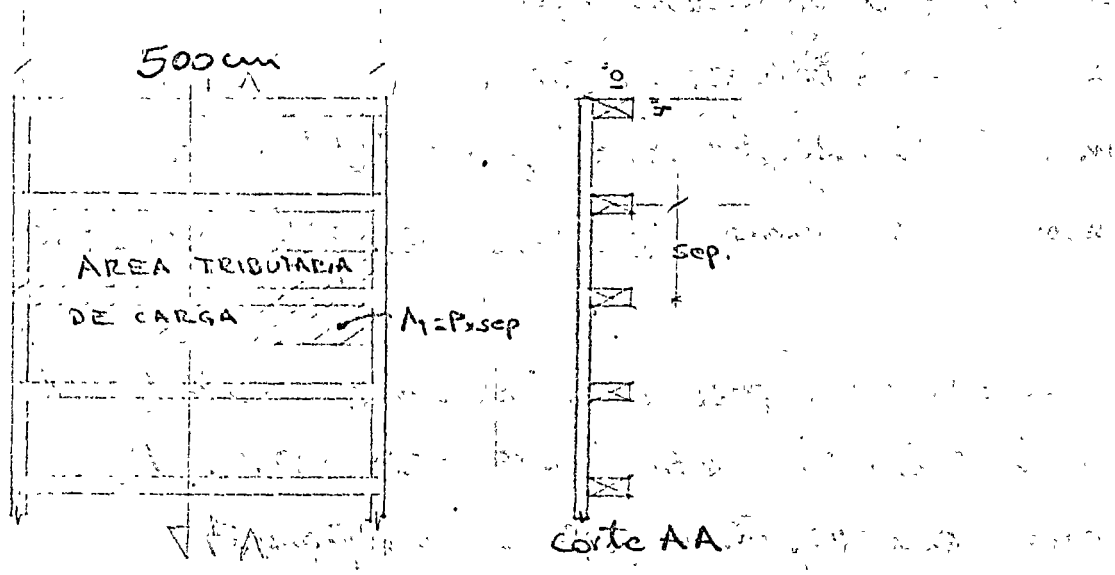


COMPORTAMIENTO Y DISEÑO DE MIEMBROS SUJETOS A DIFERENTES CONDICIONES DE CARGA. MIEMBROS EN TENSION, COMPRESION, FLEXION, ESFUERZOS COMBINADOS

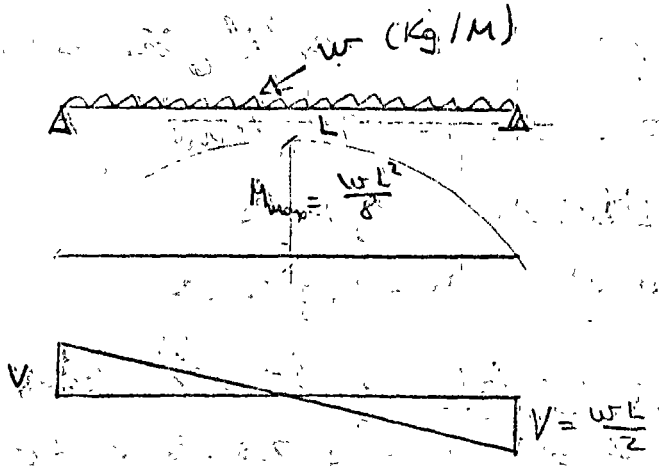
ING. FEDERICO HACH

JUNIO DE 1976.

1 Un sistema de piso para un claro de 5 M está constituído por polines de 4"x10" y una cubierta cuyo peso es de 50 Kg/M². Si se considera una carga viva de 250 Kg/M², calcular la separación de los polines de madera de primera seca. Suponer que el peso de la madera es 650 Kg/M³



Los polines se consideran simplemente apoyados y con carga uniformemente distribuída.



Los esfuerzos permisibles (11) para madera de primera verde y para carga permanente son:

$f_{bp} = 60$ Kg/cm²

$f_{vp} = 14$ Kg/cm²

$E_{medio} = 70000$ Kg/cm²

Sol.

si consideramos que la sección transversal es reducida en 13 mm en el ancho y 19 mm en el peralte por cepillado, la sección efectiva es: $8.9^{cm} \times 23.5^{cm}$.

las propiedades de la sección son:

$$\text{Area} = b \cdot h = 8.9 \times 23.5 = 209 \text{ cm}^2$$

$$\text{módulo de sección}: S = \frac{bh^2}{6} = \frac{8.9 \times 23.5^2}{6} = 819.2 \text{ cm}^3$$

$$\text{momento de inercia}: I = \frac{bh^3}{12} = \frac{8.9 \times 23.5^3}{12} = 9625 \text{ cm}^4$$

al considerar un peso de la madera de 650 Kg/M³ el peso del polín es: $650 \times 0.089 \times 0.235 = 13.6$ Kg/M

La carga que soporta el polín es (ver figura):

$$w = (50 + 250) \cdot sep = 300 \times sep \text{ Kg/M}$$

Los esfuerzos permisibles[11] de la madera seca usada se calculan afectando los esfuerzos dados por los factores debidos al secado, duración de carga (carga viva) y redistribución de carga:

$$f_{bp} = 60(1 + 0.10 + 0.15 + 0.20) = 87 \text{ Kg/cm}^2$$

$$v_p = 14(1 + 0 + 0.15 + 0.20) = 18.90 \text{ Kg/cm}^2$$

$$E_{medio} = 70000(1 + 0.10) = 77000 \text{ Kg/cm}^2$$

Revisando el polín por estabilidad lateral[11] se tiene cuando el claro efectivo es 1.92 veces el claro real:

$$C_s = 1.4\sqrt{\frac{dL}{b^2}} = 1.4\sqrt{\frac{23.5 \times 1.92 \times 500}{8.9}} = 23.63 < 50$$

$$C_k = \sqrt{\frac{3}{5}\frac{E}{f_{bp}}} = \sqrt{\frac{0.6 \times 77000}{87}} = 23.04$$

$$\therefore \quad f_{bd} = \frac{0.40E}{C_s^2} = \frac{0.40 \times 77000}{23.63^2} = 55.17 \text{ Kg/cm}^2$$

Con estos esfuerzos permisibles calculamos la carga máxima permisible que pueden soportar los polines:

a) Flexión:

$$M = f_{bd} \times S$$

$$M = 55.17 \times 819.2 = 45197 \text{ Kg-cm} = 451.97 \text{ Kg-M}$$

$$M = \frac{wL^2}{8} \Rightarrow w = \frac{8M}{L^2} = \frac{8 \times 451.97}{5^2}$$

$$\boxed{w_f = 145 \text{ Kg/M}}$$

b) Cortante: $v_p = \frac{3}{2}\frac{V}{A}$

$$V = \frac{2}{3} v A = \frac{2}{3} \times 18.9 \times 209 = 2635 \text{ Kg}$$

$$V = \frac{wL}{2} \Rightarrow w = \frac{2V}{L} = \frac{2 \times 2635}{5}$$

$$\boxed{w_c = 1054 \text{ Kg/M}}$$

c) Deflexión: limitaremos la flecha al 0.3% del claro:

$$\delta_{prem} = 0.003L$$

$$0.003L = \frac{5wL^4}{384EI}$$

$$w = \frac{0.003 \times 384EI}{5L^3} = \frac{0.003 \times 384 \times 77000 \times 9625}{5 \times 500^3}$$

$$w_d = 1.37 \text{ Kg/cm}$$

$$\boxed{w_d = 137 \text{ Kg/M}}$$

∴ La carga que gobierna la separación de los polines es la calculada por deflexión que por ser la menor nos dará la menor separación de los polines, pero a esta carga se le tendrá que deducir el peso del polín:

así : $w = 137 - 13.6$ Kg

$w = 123.4$ Kg/M

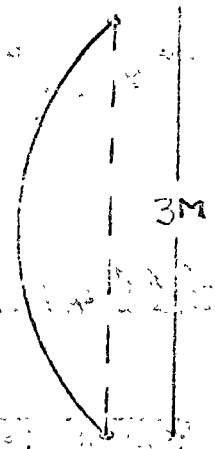
pero como $w = 300 \times sep.$

$$sep = \frac{123.4}{300}$$

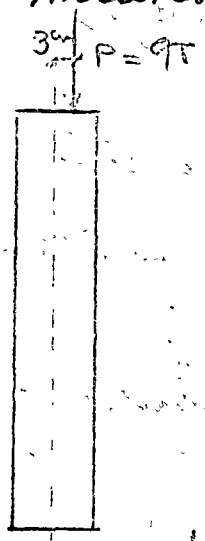
$$\boxed{sep = 40 \text{ cm}}$$

la cual es aceptable ya que se supuso que habrá redistribución de carga, es decir, que la separación será menor de 60 cm, al encrementarse los esfuerzos en un 20%

2) Una columna de madera articulada en sus extremos tiene una longitud sin apoyo de 3 M. Considerando una excentricidad de la carga de 3 cm y que se utiliza madera V65, Calcular su escuadría si la suma de las cargas axiales muerta y viva es de 9 T.



condición de apoyo en los extremos.



Eje centroidal

los esfuerzos permisibles[11] para madera V65 en condición verde y para carga permanente son:

$f_{bp} = 70\ Kg/cm^2$

$f_{cp} = 50\ Kg/cm^2$

$E_{mín} = 40000\ Kg/cm^2$

Solución:

Se procede por tanteos eligiendo una sección y revisándola por la fórmula 4.1 de las Normas Técnicas[11]

$$(4.1) \quad \frac{\frac{P}{A_n}}{f_{cd}} + \frac{\frac{P}{A_n}\,\frac{6e\beta}{d_e}}{f_{bd}\cdot C_f} \leq 1$$

Como primer intento usaremos una sección de 8"×8".
Modificaremos los esfuerzos permisibles por duración de carga pero no por secado por ser la sección mayor de $15^{cm} \times 15^{cm}$:
(ver inciso 3.1 Normas Técnicas)[11]

$f_{bp} = 70 \times 1.15 = 80.50\ Kg/cm^2$

$f_{cp} = 50 \times 1.15 = 57.50\ Kg/cm^2$

$E_{mín} = 40\,000\ Kg/cm^2$

Consideremos la sección efectiva como $19.0^{cm} \times 19.0^{cm}$

$$\frac{P}{A_n} = \frac{8000}{19.0 \times 19.0} = 26.50\ Kg/cm^2$$

Por ser los extremos articulados de la tabla 4.1[11] se tiene:

$K = 1$

$$Kl/b = \frac{300}{19.0} = 15.80 \qquad \sqrt{0.3E/f_{cp}} = \sqrt{\frac{0.3 \times 40000}{57.50}} = 14.45$$

como $Kl/b > \sqrt{0.3E/f_{cp}} \Rightarrow \beta = 1.25$

$$f_{cd} = \frac{0.3E}{(Kl/b)^2} = \frac{0.3 \times 40000}{(15.8)^2} = 48.13\ Kg/cm^2$$

como $d < 30\,cm \Rightarrow C_f = 1$

$$C_s = 1.4\sqrt{\frac{dL}{b^2}} = 1.4\sqrt{\frac{19.0 \times 1.92 \times 300}{19.0^2}} = 7.73 < 10$$

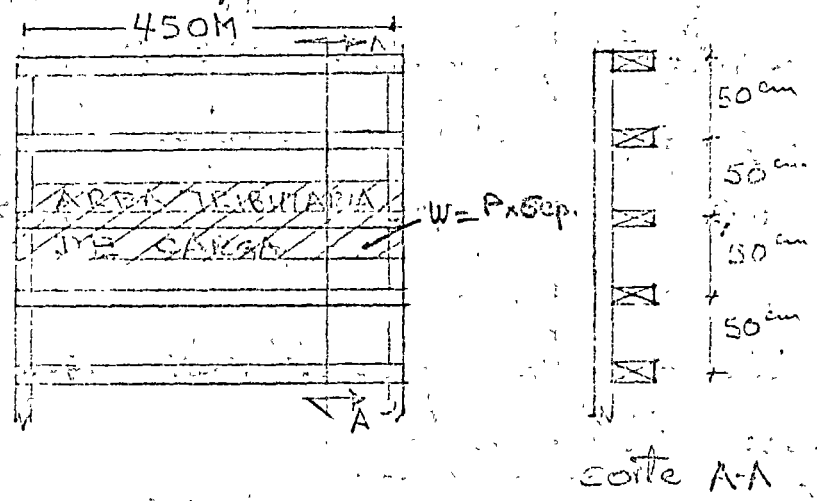
$\Rightarrow f_{bd} = f_{bp}$

sustituyendo valores en la expresión 4.1[11]

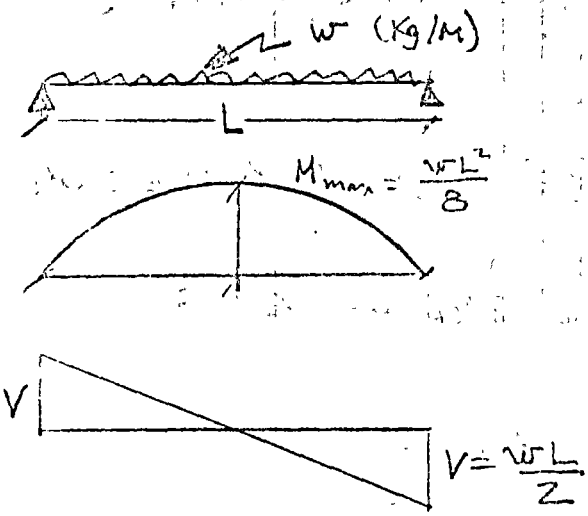
$$\frac{26.50}{48.13} + \frac{26.50\,\frac{6 \times 3 \times 1.25}{19.0}}{80.5} = 0.55 + 0.39 = 0.94 < 1$$

$\therefore$ la sección de 8"×8" es adecuada.

3.- Un sistema de techo constituído por polines separados 50 cm centro a centro y cubierta cuyo peso es de 45 Kg/M² soporta una carga viva de 100 Kg/M². Si el claro a cubrir es de 4.5 M y la madera utilizada es de primera y está seca, determinar la escuadría de los polines.



Los polines se consideran libremente apoyados sujetos a carga uniformemente repartida.



Los esfuerzos permisibles[11] para madera de primera usada para condiciones de carga permanente son:

$f_{bp} = 60$ Kg/cm² , $v_p = 14$ Kg/cm² ; $E_{medio} = 70{,}000$ Kg/cm²

y los esfuerzos permisibles considerando las condiciones de servicio[11] son:

$E_{mudado} = 70000\,(1+0.10) = 1.10 \times 70000 = 77000\ Kg/cm^2$

En virtud de que este tipo de problemas se resuelven en forma iterativa (tanteos), se necesita suponer una sección transversal y revisar que ésta sea capaz de soportar las cargas actuantes. Suponiendo como primer tanteo una sección de 4"x8" tenemos:

La carga que soporta cada polín es: $w = (100+45)\times 0.5 = 72.5\ \frac{Kg}{M}$ la cual no incluye el peso del polín, entonces la carga total es:

$$w_T = w + \text{Peso polín} = 72.5 + 650 \times 0.089 \times 0.184 = 72.5 + 10.6$$

$$w_T = 83.1\ Kg/M$$

Revisando por estabilidad lateral[11] y considerando que el claro efectivo es 1.92 veces el claro real:

$$C_s = 1.4\sqrt{\frac{dL}{b^2}} = 1.4\sqrt{\frac{18.4 \times 1.92 \times 450}{8.9^2}} = 19.81$$

$$C_k = \sqrt{\frac{3}{5}\,\frac{E}{f_{bp}}} = \sqrt{\frac{0.6 \times 77000}{87}} = 23.04$$

$$\therefore\ f_{bd} = 87\left[1 - \frac{1}{3}\left(\frac{19.81}{23.04}\right)^4\right] = 0.82 \times 87 = 71.14\ Kg/cm^2$$

a) Revisión por flexión:

$$M = \frac{wL^2}{8} = \frac{83.1 \times 4.5^2}{8} = 210.45\ Kg\text{-}M = 21045\ Kg\text{-}cm$$

$$S = \frac{M}{f_{bd}} = \frac{21045}{71.14} = 296\ cm^3 < 502$$

$\therefore$ es aceptable por flexión

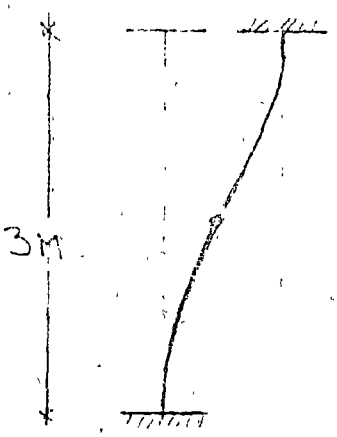
b) Revisión por deflexión: si $\delta_{perm} = 0.003L$

$$0.003L = \frac{5wL^4}{384EI} \Rightarrow I = \frac{5wL^3}{0.003 \times 384 \times E}$$

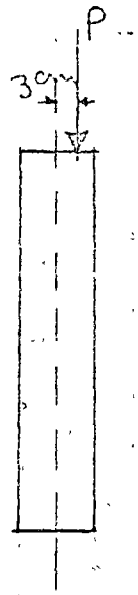
$$I = \frac{5 \times 0.831 \times 450^3}{0.003 \times 384 \times 77000} = 4270\ cm^4 < 4620\ cm^4$$

$\therefore$ la sección de 4"x8" es adecuada.

Se tiene una columna de 4"x4" con sus extremos fijos y longitud 3M. Si la carga se aplica con una excentricidad de 3 cm y se utiliza madera de primera seca, determinar su capacidad de carga.



condición de Apoyo



Los esfuerzos permisibles (11) para madera verde y condición de carga permanente son:

$f_{op} = 60\ Kg/cm^2$

$f_{cp} = 50\ Kg/cm^2$

$E_{min} = 40\,000\ Kg/cm^2$

Los cuales cuales se modifican debido al secado y duración de carga (carga viva):

$f_{op} = 60\,(1+0.10+0.15) = 1.25 \times 60 = 75\ Kg/cm^2$

$f_{cp} = 50\,(1+0.2+0.15) = 1.35 \times 50 = 67.5\ Kg/cm^2$

$E_{min} = 40000\,(1+0.10+0) = 1.1 \times 40 \times 10^3 = 44000\ Kg/cm^2$

La sección efectiva es: $8.9^{cm} \times 8.9^{cm}$

$$A = 79.21\ cm^2$$

al despejar la carga P de la fórmula 4.1 de las Normas técnicas se tiene:

$$P \leq \frac{1}{\dfrac{\frac{1}{A_n}}{f_{cd}} + \dfrac{\frac{1}{A_n}\frac{6e}{d_e}\beta}{f_{bd}\cdot C_f}} \quad \ldots\ldots\ldots (1)$$

el factor de longitud efectiva K es igual a 1.2 de la tabla 4.1

$$Kl/b = \frac{1.2 \times 300}{8.9} = 40.45$$

$$\sqrt{0.3\,E/f_{cp}} = \sqrt{0.3 \times 44000/67.5} = 13.98 < Kl/b$$

$$\Rightarrow \beta = 1.25$$

$$f_{cd} = \frac{0.3\,E}{(Kl/b)^2} = \frac{0.3 \times 44000}{(40.45)^2} = 8.07\ Kg/cm^2$$

como $d < 30\ cm \Rightarrow C_f = 1$

$C_s = 1.4\sqrt{\frac{dL}{b^2}}$ y si consideramos que el claro efectivo es 1.92 veces el claro real:

$$C_s = 1.4\sqrt{8.9 \times 1.92 \times 300/8.9^2} = 11.26$$

$$C_k = \sqrt{\frac{3}{5}\frac{E}{f_{bp}}} = \sqrt{\frac{0.6 \times 44000}{75}} = 18.76$$

$$\therefore \quad f_{bd} = f_{bp}\left[1 - \frac{1}{3}\left(\frac{C_s}{C_k}\right)^4\right] = 75\left[1 - \frac{1}{3}\left(\frac{11.26}{18.76}\right)^4\right] = 76 \times 0.96$$

$$f_{bd} = 71.76\ Kg/cm^2$$

y sustituyendo valores en la expresión (1) se tiene

$$P \leq \frac{1}{\frac{\frac{1}{79.21}}{8.07} + \frac{\frac{1}{79.21} + \frac{6 \times 3 \times 1.25}{8.9}}{71.76 \times 1}} = \frac{1}{0.0016 + 0.0009} = \frac{1}{0.00291}$$

$$\boxed{P \leq 498 \text{ Kg}}$$

∴ la capacidad de la columna de 4"x4" será de

<u>498 Kg</u>

Tabla 1

Dimensiones máximas permisibles de los nudos presentes en un elemento estructural, en cm

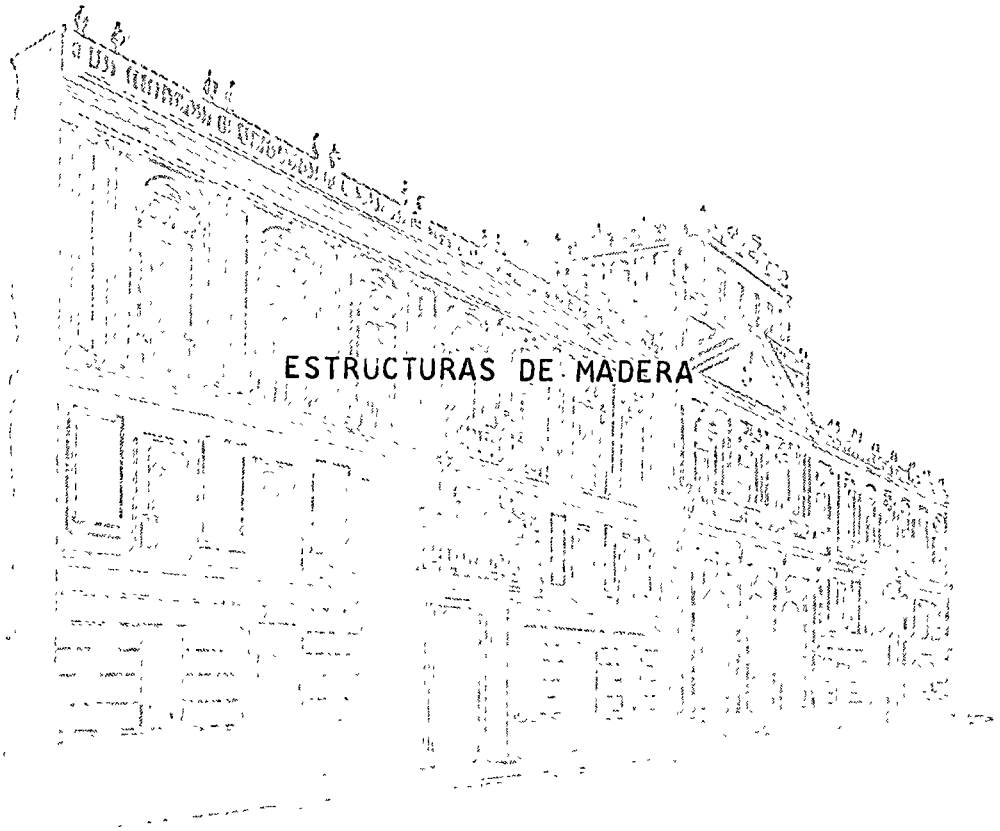
Dimensión nominal de la cara considerada	Nudos en el canto y en la zona central para elementos en flexión y en cualquier cara para elementos en compresión				Nudos en la zona de borde para elementos en flexión y en cualquier cara para elementos en tensión			
cm (pulg) .	V-40	V-50	V-65	V-75	V-40	V-50	V-65	V-75
2.5 (1)	2.5	2.0	1.5	1.0	1.5	1.0	0.5	--
4.5 (1 1/2)	3.0	2.5	2.0	1.0	2.0	1.5	1.0	0.5
5.0 (2)	3.5	3.0	2.0	1.5	2.0	1.5	1.0	0.5
6.5 (2 1/2)	4.5	4.0	2.5	2.0	2.5	2.0	1.5	1.0
7.5 (3)	5.0	4.5	3.0	2.0	3.0	2.5	1.5	1.0
9.0 (3 1/2)	5.5	5.0	3.5	2.5	3.5	2.5	2.0	1.5
10.0 (4)	6.5	6.0	4.0	3.0	3.5	3.0	2.0	1.5
13.0 (5)	7.5	7.0	5.0	3.5	4.5	4.0	2.5	2.0
15.0 (6)	9.0	8.0	6.0	4.0	5.5	5.0	3.0	2.5
20.0 (8)	12.0	9.0	6.5	4.5	7.5	6.5	4.0	3.0
25.5 (10)	15.0	10.0	7.0	5.0	9.5	8.0	5.0	3.5
30.5 (12)	18.0	11.0	7.5	5.5	11.0	9.0	6.5	4.5
35.5 (14)	21.0	12.0	8.0	6.0	12.5	10.0	7.0	4.5

Notas:

1. Para otras medidas pueden hacerse interpolaciones lineales
2. La calidad V-100 correspondería a madera sin defectos
3. No se permitirá la presencia de dos o más nudos de dimensión máxima en un mismo tramo de 30 cm, además la suma de las dimensiones de todos los nudos para el mismo tramo no excedera el doble de la dimensión del nudo máximo.
4. Para tablas y tablones que se usen como vigas apoyados en su cara ancha solo se considerarán los nudos que aparezcan en la misma tomándose como nudos en el canto.
5. Para vigas de sección cuadrada o en las que d/b sea menor de 1.5, todos los nudos presentes se tomarán como nudos en el canto.
6. Para elementos simplemente apoyados sujetos a flexión, las dimensiones máximas para los nudos en las zonas de canto y de borde fuera del tercio medio podrán incrementarse hasta un 100% en los extremos, para posiciones intermedias el incremento será proporcional.

centro de educación continua
división de estudios superiores
facultad de ingeniería, unam

PROYECTO Y USOS ESTRUCTURALES DE LA MADERA

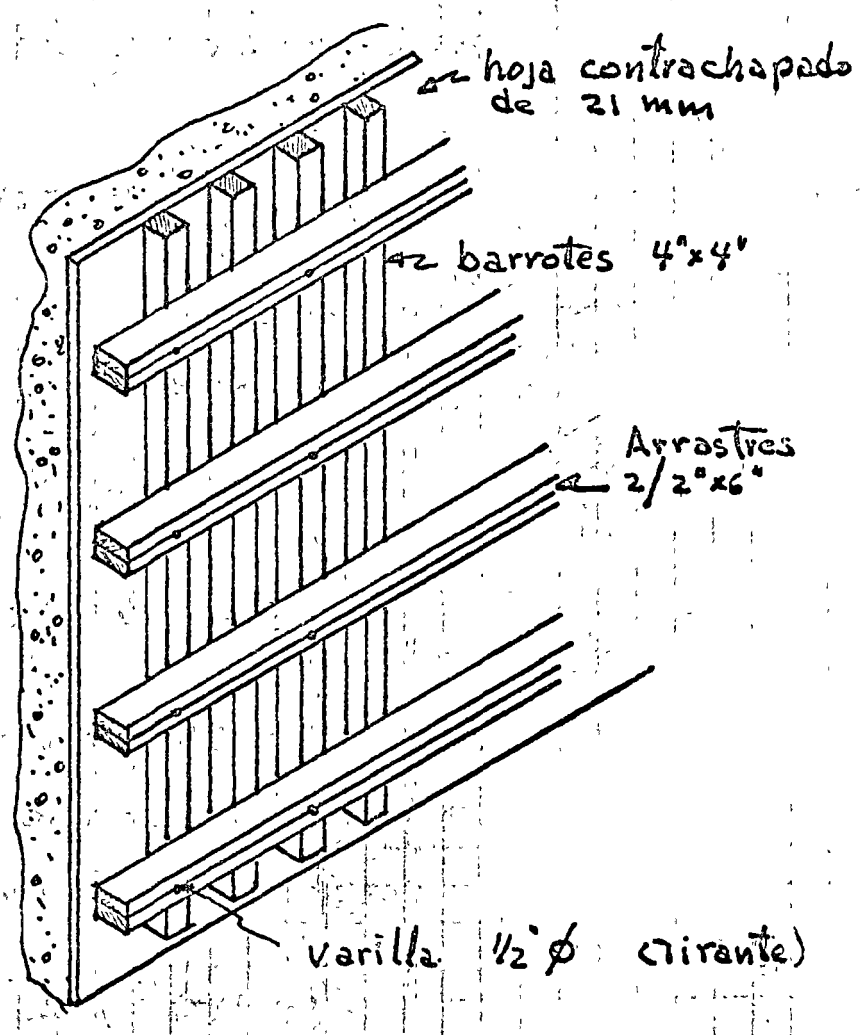


ING. FEDERICO MIGUEL HACH GOMEZ LLANOS

JULIO DE 1976.

Palacio de Minería Tacuba 5, primer piso. México 1, D. F. Tels: 521-40-23 521-73-35 5123-123

Diseñar la cimbra para un muro de 4.2 M de altura que será colado a una rapidez de 3 pie/hr. y a una temperatura ambiental de 60°F.



I.- MATERIALES:

1) Contrachapado de 7/8" (21 mm) en hojas lisas de 4' x 8'. Se usará con las fibras de las caras perpendiculares a los barrotes.

Las propiedades por metro de ancho son[17]:

$$S = 31.45 \ cm^3/M$$

$$I = 4610 \ cm^4/M$$

$$Ib/Q = 178.88 \ cm^2/M$$

Los Esfuerzos Permisibles para condición de servicio verde y de carga de corta duración son[6]:

$$f_b = 140 \ Kg/cm^2$$

$$E = 112000 \ Kg/cm^2$$

$$v_p = 5.25 \ Kg/cm^2$$

2) Madera maciza: Pino Segunda

Los Esfuerzos Permisibles para condición de servicio verde y carga permanente son":

$f_b = 30\ Kg/cm^2$

$v = 7\ Kg/cm^2$

$E_{medio} = 70\,000\ Kg/cm^2$

$E_{mín} = 40\,000\ Kg/cm^2$

Se usarán secciones de 2"x6" y de 4"x4" cuyas propiedades son:

	2"x6"	4"x4"
Sección efectiva	$3.8^{cm} \times 13.9^{cm}$	$8.7^{cm} \times 8.7^{cm}$
A =	52.82	79.21
S =	122.4	117.5
I =	850	523

3) Tirantes:

Varilla A-36 de ½" ϕ con de capacidad de 1.5 T.

II- DISEÑO ELEMENTOS.

Todos los elementos se consideran como vigas contínuas, y las fórmulas por usar son:

1) Flexión:

$$M_{max} = \frac{wL^2}{10} \quad ; \quad M = fS$$

$$\therefore \quad fS = \frac{wL^2}{10} \qquad (1)$$

$$ó \quad l_f = \sqrt{\frac{10fS}{w}} \qquad (2)$$

2) Deflexión:

$$\Delta_{max} = \frac{w L^4}{145 E I}$$

Si $\Delta_{max} = \frac{L}{360}$, $L_{def} = 0.74 \sqrt[3]{\frac{EI}{w}}$ (3)

Si $\Delta_{max} = \frac{1''}{16} = 0.16 cm$, $L_{def} = 2.19 \sqrt{\frac{EI}{w}}$ (4)

3) Cortante:

$$v = \frac{1.5V}{A} \quad \text{pero} \quad V = 0.6wL$$

$$\therefore \quad v = \frac{0.9wL}{A} \quad (5)$$

ó

$$v = \frac{VQ}{bI}$$

$$\therefore \quad L_c = \frac{v}{0.6w} \left(\frac{Ib}{Q} \right) \quad (6)$$

1.1) PRESION LATERAL

La presión lateral máxima está dada por:

$$P = 150 + \frac{9000R}{T}$$

y sustituyendo valores se tiene:

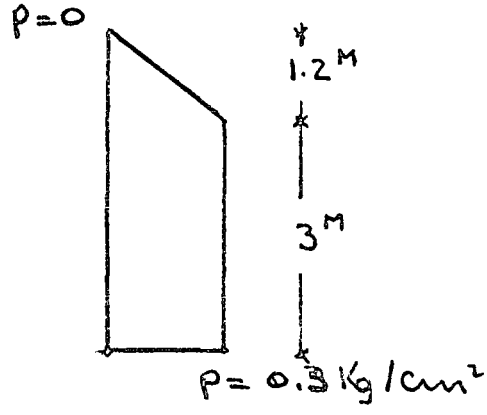
$$P = 150 + \frac{9000 \times 3}{60}$$

$$p = 6000 \text{ psf}$$

$$p = 3T/M^2 = 0.3 Kg/cm^2$$

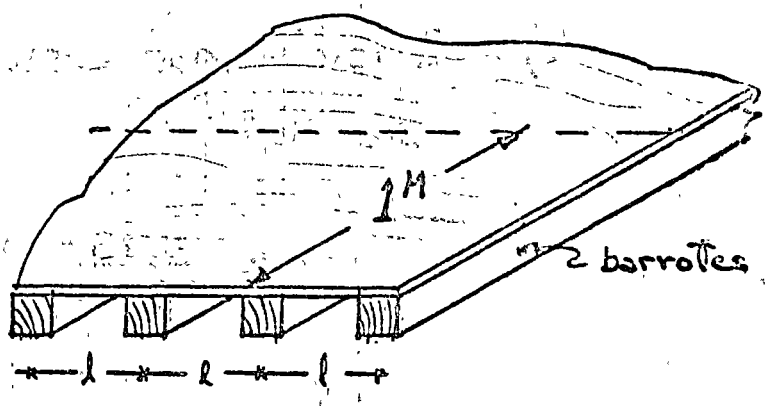
Considerando que la profundidad de la presión máxima (h) es p/150:

$$h = \frac{p}{150} = \frac{600}{150} = 4 \text{ pies} = 1.2 \text{ m}$$



B) FORRO :

El contrachapado del forro será del mismo espesor para toda la superficie del muro y los apoyos estarán uniformemente espaciados de tal manera de tener apoyos en los bordes de las hojas. Como las hojas se usarán de modo que las fibras de las caras sean perpendiculares a los apoyos (barrotes), la dimensión mayor de las hojas (2.40M) será perpendicular a los barrotes.



1) Revisión por flexión.

Considerando una franja unitaria, el claro permisible máximo por flexión es dado por (2) y la carga es:

$w = 0.3 \times 100 = 30 \, Kg/cm.$

$$l_f = \sqrt{\frac{10 \times 140 \times 31.45}{30}}$$

$$l_f = 38 \, cm.$$

2) Revisión por cortante:

De (6)

$$l_c = \frac{5.25}{0.6 \times 30} \times 178.88$$

$$l_c = 52 \, cm.$$

3) Revision por deflexión:

Para la franja unitaria la flecha máxima será la menor de L/360 ó 0.16cm (1/16") :

De (3)

$$l_{def} = 0.74 \sqrt[3]{\frac{112000 \times 41.1}{30}}$$

$$l_{def} = 39.6 \text{ cm} \quad \text{para} \quad L/360$$

De (4)

$$l_{def} = 2.19 \sqrt[4]{\frac{112000 \times 41.10}{30}}$$

$$l_{def} = 43.44 \text{ cm} \quad \text{para} \quad \Delta = 0.16 \text{ cm}$$

SEPARACION DE BARROTES.- Es regida por flexión. Ellos no pueden tener una separación mayor de 38 cm.

Puesto que las hojas de contrachapado deberán tener barrotes en las uniones para apoyo, y por ser deseable una separación de barrotes uniforme ésta puede ser de 35 cm la cual es menor de 38 cm. Podría ser más conveniente por facilidad una separación de 30 cm entre ejes y usar 8 barrotes.

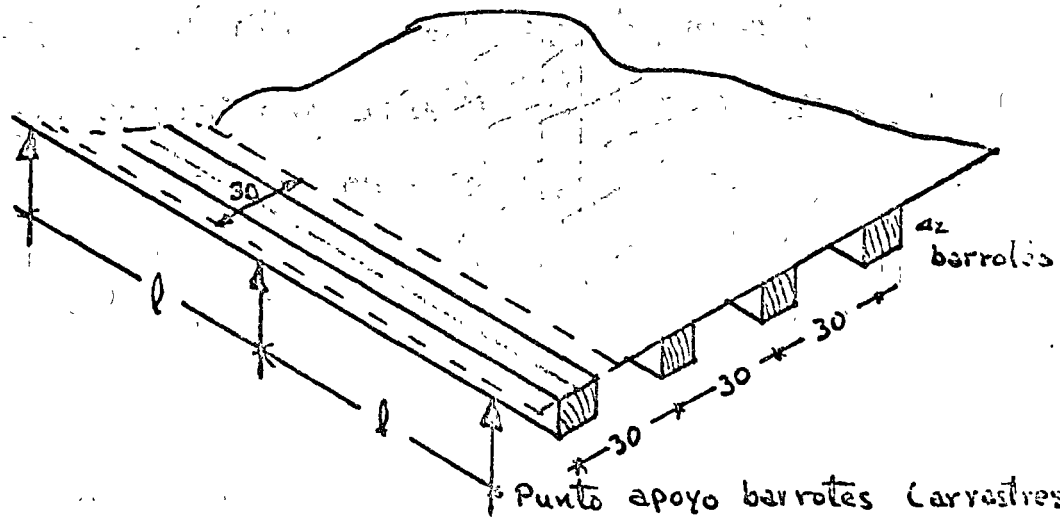
c) ESCUADRIA DE BARROTES Y SEPARACIÓN DE ARRASTRES (ELEMENTOS HORIZONTALES) PARA APOYO DE BARROTES.

Usando barrotes de 4"x4" con una separación de 30cm entre ejes, encontraremos el claro máximo donde la presión lateral sea máxima (0.3Kg/cm²).

La carga uniforme equivalente para el diseño de los barrotes será la presión máxima por su separación:

$$w_b = 0.3 \times 30$$

$$w_b = 9 \text{ Kg/cm}$$



Si los barrotes son de pino de Segunda los Esfuerzos Permisibles para la condición de servicio seco, carga de corta duración (suponiendo un solo uso) y considerando redistribución de carga por ser la separación de los barrotes menor de 60cm., son:

$$f_{bp} = 30(1+0.10+0.25+0.20) = 1.55 \times 30 = 46.5 \text{ Kg/cm}^2$$

$$v = 7(1+0+0.25+0.20) = 1.45 \times 7 = 10.15 \text{ Kg/cm}^2$$

$$E_{medio} = 70000(1+0.10) = 77000 \text{ Kg/cm}^2$$

Ahora revisaremos los claros por flexión, deflexión y cortante, suponiendo los barrotes como vigas continuas con carga uniformemente distribuida.

1) Revisión por flexión:

De (2) se tiene:

$$l_f = \sqrt{\frac{10 \times 46.5 \times 117.5}{9}}$$

$$l_f = 78 \text{ cm.}$$

2) Revisión por Cortante:

De (5) se tiene:

$$l_c = \frac{10.15 \times 79.21}{0.9 \times 9}$$

$$l_c = 99 \text{ cm}$$

3) Revisión por deflexión

La deflexión admisible será la menor de L/360 ó 0.3 cm (1/8")

De (3)

$$l_{def} = 0.74 \sqrt[3]{\frac{77000 \times 523}{9}}$$

$\therefore \quad l_{def} = 122 \text{ cm} \quad$ para $\quad L/360$

Multiplicando por 1.19 la ecuación (4)

$$l_{def} = 261 \sqrt[4]{\frac{77000 \times 523}{9}}$$

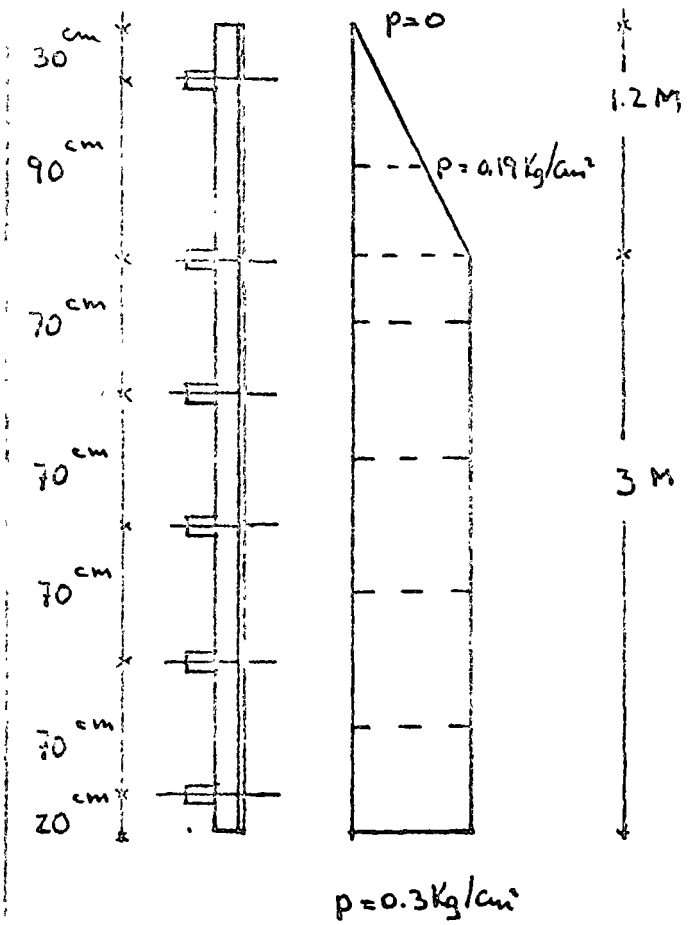
$\therefore \quad l_{def} = 118 \text{ cm} \quad$ para $\quad \Delta = 0.3 \text{ cm}$

SEPARACION ARRASTRES:

Se tiene que la separacion es regida por flexión; así, su separación no será mayor de 78 cm en donde la presión lateral sea máxima (0.3 Kg/cm²). En la parte superior del muro los arrastres pueden tener teoricamente una separación mayor. Sin embargo, las dimensiones exactas se determinan por consideraciones constructivas y al colocarse el primer arrastre en la base del muro a 20 cm y el último a 30 cm de su parte superior.

La carga uniforme equivalente para cada arrastre será igual a su área tributaria de carga, calculada del diagrama de presiones laterales,

carga uniforme en arrastres, Kg/cm.



$0.85 \times \frac{85}{2} = 8.1$ Kg/cm²

$(0.19+0.11/2)\,45 + 0.3 \times 35$
$= 21.5$ Kg/cm²

$0.3 \times 70 = 21$ Kg/cm²

$0.3 \times 70 = 21$ Kg/cm²

$0.3 \times 70 = 21$ Kg/cm²

$0.3 \times 35 + 0.3 \times 20$
$= 16.5$ Kg/cm²

D) DISEÑO TIRANTE.

Se dispone de varillas A-36 de 1/2" ϕ de 1.5 T de capacidad. Cuando la carga sobre el arrastre es conocida, la separación de los tirantes puede ser calculada. No todos los arrastres soportan la misma carga, pero la separación de los tirantes se determina para la carga máxima y ésta se usa a través de todo el molde por facilidad.

La carga máxima es: 21.50 Kg/cm.

$$\therefore \quad sep = \frac{\text{capacidad tirante}}{\text{carga}} = \frac{1500}{21.50}$$

$$sep = 69.7 \text{ cm.}$$

pero por conveniencia se usará:

$$sep = 60 \text{ cm}$$

3) ESCUADRIA ARRASTRES.

La carga sobre los arrastres se supone uniformemente distribuida e igual al valor calculado en el diagrama, aunque la carga real es puntual en los puntos donde los barrotes descansan sobre los arrastres.

Los Esfuerzos Permisibles que se usarán son para condición de servicio seco y carga de corta duración. No se considera redistribución de carga por ser la separación de los arrastres mayor de 60 cm:

$$f_b = 40.5 \ Kg/cm^2$$

$$v = 8.7 \ Kg/cm^2$$

$$E = 44000 \ Kg/cm^2$$

1) Revisión por flexión:

Como el claro y la carga son conocidas, determinaremos la escuadría a partir del módulo de sección

De (4) cuando $w = 21.5$ Kg/cm, $l = 60$ cm

$$S = 191 \text{ cm}^3$$

Seleccionando un elemento doble para evitar perforar elementos simples, se tiene que el módulo de sección de 2 vigas de 2"x6" es $245 \text{ cm}^3 > S$

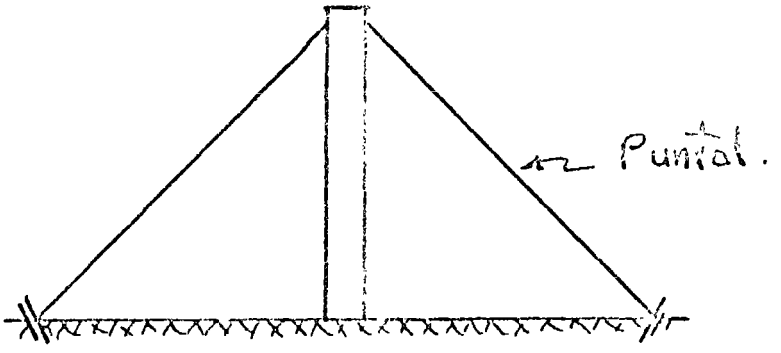
2) Revisión por Cortante.

De (5):

$$v = \frac{0.9 \times 21.5 \times 60}{2 \times 106} =$$

$$v = 7.3 \text{ Kg/cm}^2 < v_p = 8.7 \text{ Kg/cm}^2$$

RIGIDIZACION PARA FUERZAS LATERALES.



La presión sobre el muro será:

$$p = 10\,psf = 50\,Kg/M^2$$

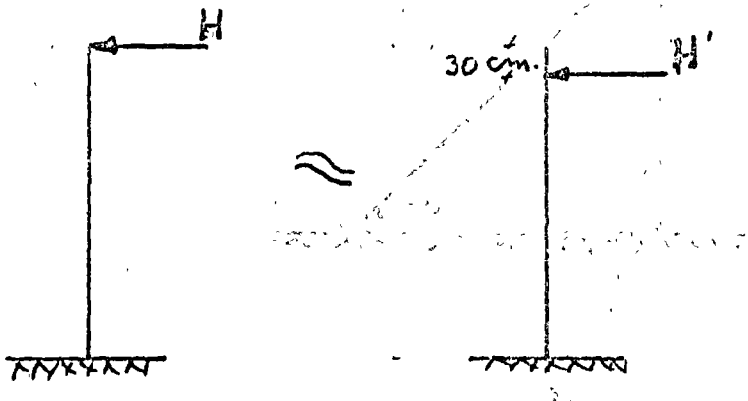
y la fuerza horizontal aplicada en la parte superior del muro:

$H = \frac{h}{2} p$ la cual deberá ser mayor de 100 lb/pie (150 Kg/M.)

$$\therefore \quad H = \frac{4.2}{2} \times 50 = 105\,Kg/M < 150\,Kg/M$$

$$H = 150\,Kg/M$$

Al tomar esta fuerza con puntales, éstos se sujetarán del arrastre superior; es decir, a 30 cm de la parte superior del muro. Entonces, se necesita determinar la fuerza equivalente a H aplicada en el arrastre:

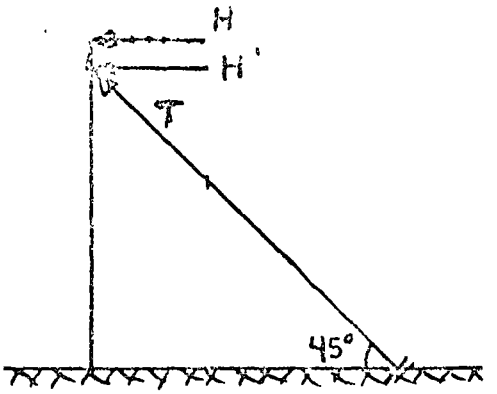


H' deberá producir el mismo momento en la base que H:

$$\therefore \; H \times 4.2 = H' \times 3.9$$

$$\Rightarrow \; H' = 162 \, Kg/M$$

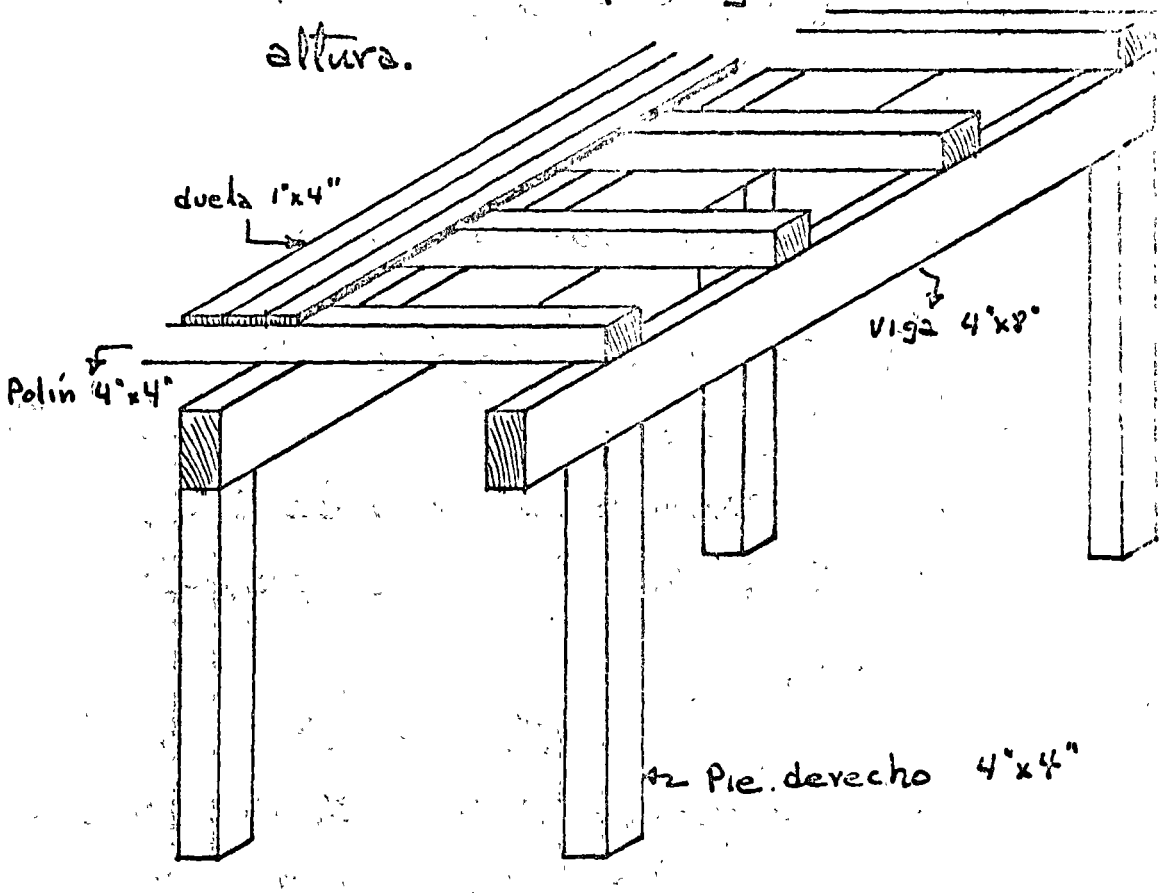
La fuerza en el puntal será, si consideramos que está anclado a 3.9 M del muro (el puntal formará un ángulo de 45° con la horizontal) y utilizando el teorema de pitágoras:



$$T = H' \cdot \sqrt{2}$$

$$T = 114 \text{ Kg/M}$$

Diseñar un sistema de piso para colar una losa de concreto reforzado de 10 cm de espesor, que ha de cubrir una pieza de claros 3 M x 4.5 M y 3 M de altura.



I) MATERIALES.

Madera de Pino de Segunda.
Los Esfuerzos Permisibles para condición de servicio verde y carga permanente son:

$f_b = 30\ Kg/cm^2$

$v = 7\ Kg/cm^2$

$E_{medio} = 70000\ Kg/cm^2$

$E_{mín} = 40000\ Kg/cm^2$

Se usarán secciones de 4"x1", 4"x4" y 4"x8" cuyas propiedades son:

	4"x1"	4"x4"	4"x8"
Sección efectiva =	8.9x1.6	8.9x8.9	8.9x18.4 cm
A =	14.24	79.21	163.76 cm²
S =	3.8	117.5	502.2 cm³
I =	3.04	523	4620 cm⁴

II) CARGA:

concreto: h=10cm; 2400×0.10= 240 Kg/M²

carga viva - - - - - - - - - 250 Kg/M²

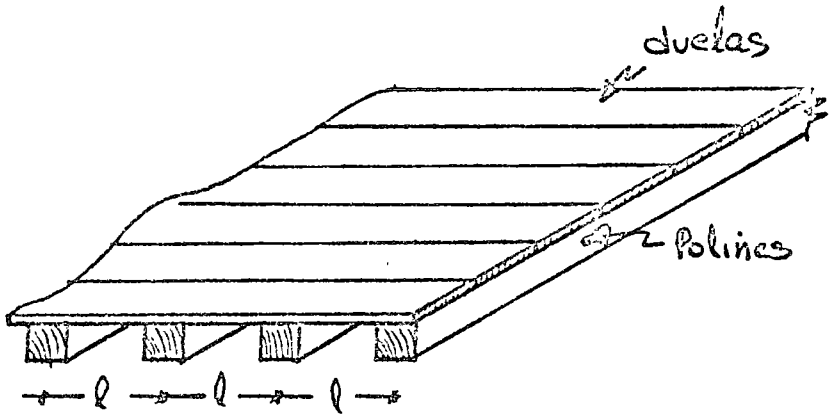
carga total - - - - - - - w_T = 490 Kg/M²

III) DISEÑO:

Todos los elementos se consideran como vigas continuas y se utilizan las fórmulas dadas en el ejemplo anterior.

A) SEPARACION POLINES:

Esta separación se basa en la deformación máxima de las duelas, para evitar que la losa colada presente abolsamientos; además, deben de revisarse por flexión y cortante



Las duelas se usan en condición verde y al considerarse redistribución de carga, los Esfuerzos Permisibles son:

$$f_b = 30(1+0.2) = 1.2 \times 30 = 36 \text{ Kg/cm}^2$$

$$v = 7(1+0.2) = 1.2 \times 7 = 8.4 \text{ Kg/cm}^2$$

$$E = 70\,000 \text{ Kg/cm}^2$$

1) Deflexión:

Si se considera a cada duela como una viga continua y la deformación permisible como la menor de L/360 o 0.16cm (1/16").

La carga sobre cada duela es:

$w = 490 \times$ ancho duela

$w = 490 \times 0.10$

$w = 49$ Kg/M

$w = 0.49$ Kg/cm

De (3)

$$l_{def} = 0.74 \sqrt[3]{\frac{77000 \times 3.04}{0.49}}$$

$\therefore l_{def} = 56\,cm$ para $L/360$

De (4)

$$l_{def} = 2.19 \sqrt[4]{\frac{77000 \times 3.04}{0.49}}$$

$\therefore l_{def} = 56.2\,cm$ para $\Delta_{max} = 0.16\,cm$

Usando una separación de polines de 50 cm; así, tendremos 10 polines en el claro de 15.0 M

2) Flexión:

De (1)

$$f = \frac{0.49 \times 50^2}{10 \times 3.8} = 32.2 \text{ Kg/cm}^2 < f_{b_p} = 36 \text{ Kg/cm}^2$$

3) Cortante:

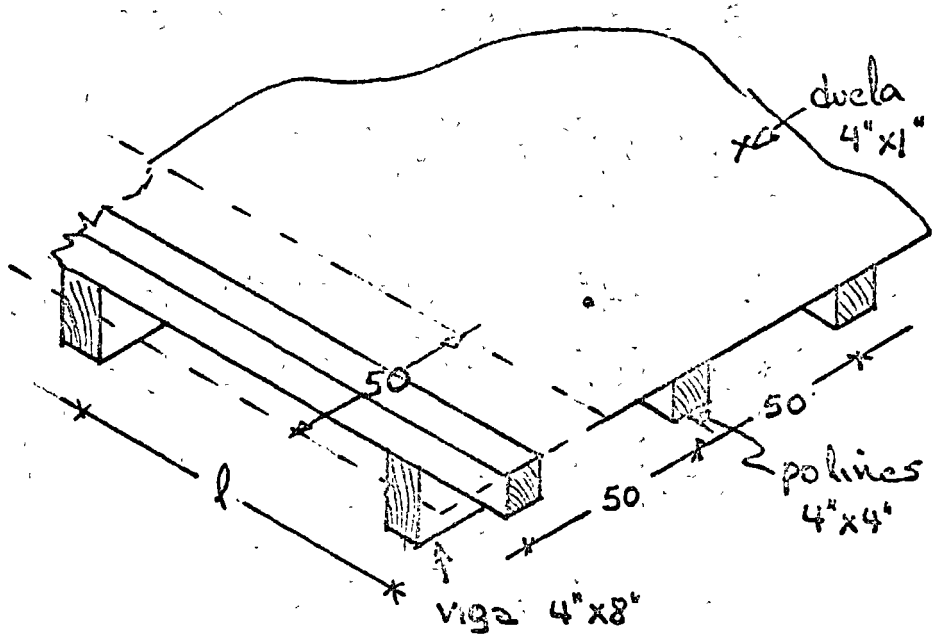
De (5)

$$v = \frac{0.9 \times 0.49 \times 50}{14.24} = 1.55 \text{ Kg/cm}^2 < v_p = 8.4 \text{ Kg/cm}^2$$

Por lo tanto es adecuada la separación de 50 cm para los polines.

B) SEPARACION VIGAS:

Esta separación es dada por el claro mínimo del determinado por flexión, deflexión o cortante de los polines.



Los Esfuerzos Permisibles para los polines en condición de servicio seca, carga permanente y considerando redistribución de carga, son:

$$f_{b_p} = 30\ (1+0.1+0.2) = 1.3 \times 30 = 39\ Kg/cm^2$$

$$v_p = 7\ (1+0.2) = 1.2 \times 7 = 8.4\ Kg/cm^2$$

$$E = 70000\ (1+0.1) = 1.1 \times 70000$$

$$E' = 77000\ Kg/cm^2$$

La carga sobre cada polín intermedio es:

$$w = 490 \times 0.50$$

$$w = 245\ Kg/M$$

$$w = 2.45\ Kg/cm$$

1) Deflexión:

La deflexión admisible será la menor de L/360 ó 0.3 cm (1/8")

De (3)

$$l_{def} = 0.74 \sqrt[3]{\frac{7000 \times 523}{2.45}}$$

$l_{def} = 188$ cm para L/360

Multiplicando por 1.19 la ecuación (4):

$$l_{def} = 2.61 \sqrt[3]{\frac{7000 \times 523}{2.45}}$$

$l_{def} = 166$ cm para $\Delta_{max} = 0.3$ cm

2) Flexión:

De (2)

$$l_f = \sqrt{\frac{10 \times 39 \times 17.5}{2.45}}$$

$$l_f = 137 \text{ cm}$$

3) Cortante:

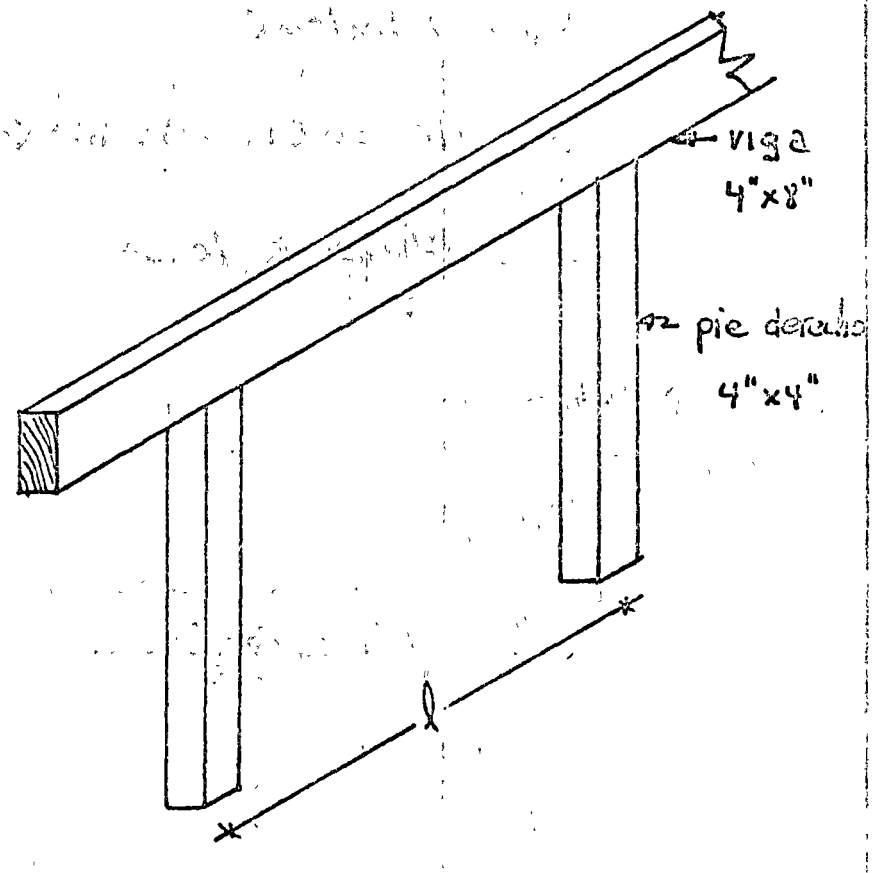
De (5)

$$v = \frac{0.9 \times 2.45 \times 50}{79.21} = 1.4 \text{ Kg/cm}^2 < v_p$$

$\therefore$ Se usarán los polines con claros de 1 M. Es decir, los pies derechos tendrán una separación de 1 M en el claro de 3 M.

c) SEPARACION APOYOS VIGAS.

Esta separación nos dará la separación de los pies derechos en el claro de 5.0m.



La carga sobre una viga intermedia es: $w = 490 \times 1 = 490 \, Kg/M$

$w = 4.9\ Kg/cm$

Los Esfuerzos permisibles para las vigas son para condición de servicio seco, carga permanente y no carga redistribuida:

$f_{b_p} = 30\,(1+0.1) = 1.1 \times 30 = 33\ Kg/cm^2$

$v_p = 7\ Kg/cm^2$

$E = 40000\,(1+0.1) = 1.1 \times 40000$

$E = 44000\ Kg/cm^2$

1) Flexión:

De (2)

$$l_f = \sqrt{\frac{10 \times 33 \times 502.2}{4.9}}$$

$l_f = 184\ cm$

2) Deflexión:

La deflexión permisible es la menor de L/360 ó 0.3cm (1/8"):

De (3)

$$l_{def} = 0.74 \sqrt[3]{\frac{44000 \times 4620}{4.9}}$$

$l_{def} = 256$ cm para L/360

multiplicando por 1.19 la ecuación(4)

$$l_{def} = 2.61 \sqrt[4]{\frac{44000 \times 4620}{4.9}}$$

$l_{def} = 209$ cm para $\Delta_{max} = 0.3$ cm

∴ Colocando pies derechos a 1.5M las vigas de 4"x8" son adecuadas.

D) Revisión Pies derechos:

Estos se revisarán como elementos sujetos a flexocompresión

Los Esfuerzos Permisibles son los mismos usados para vigas.

La carga que soporta un pie derecho intermedio es:

$P = 490 \times 1 \times 1.5$

$P = 735$ Kg.

La altura libre del pie derecho es la altura total menos el espesor de la duela, peralte polín y peralte viga:

$L = 240 - (1.6 + 8.9 + 18.4)$

$L = 240 - 28.9$

$L = 211$ cm.

La fórmula de revisión es:

$$\frac{\frac{P}{A_n}}{f_{cd}} + \frac{\frac{P}{A_n}\,\frac{6e\,\beta}{d_e}}{f_{bd}\cdot C_f} \leq 1$$

Consideraremos una excentricidad de 2.5 cm y a los apoyos extremos como articulados y sin desplazamiento lateral, o sea $K=1$

$$f_{cd} = \frac{0.3E}{(Kl/b)^2} \leq f_{cp}$$

$$Kl/b = \frac{1\times 211}{8.9} = 23.72$$

$$f_{cd} = \frac{0.3\times 44000}{(23.72)^2} = 23.46\ Kg/cm^2$$

$$f_{cp} = 25(1+0.2) = 1.2\times 25 = 30\ Kg/cm^2 > f_{cd}$$

$$\sqrt{\frac{0.3E}{f_{cp}}} = \sqrt{\frac{0.3 \times 44000}{30}} = 21 < K/b = 23.72$$

$$\Longrightarrow \quad \beta = 1.25$$

como $d < 30$ cm $\Rightarrow C_f = 1$

sustituyendo valores se tiene:

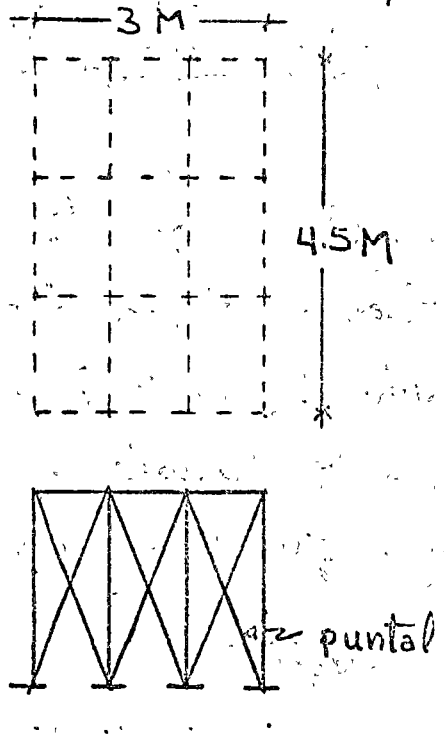
$$\frac{\frac{735}{79.2}}{23.46} + \frac{\frac{735}{79.2} \times \frac{6 \times 2.5 \times 1.25}{8.9}}{33} = 0.40 + 0.59$$

$$= 0.99 < 1$$

$\therefore$ los pies derechos son adecuados.

RIGIDIZACION PARA FUERZAS LATERALES.

La rigidizacion la haremos en ambos sentidos con arriostramiento vertical en ⌘ (representado por linea quebrada)

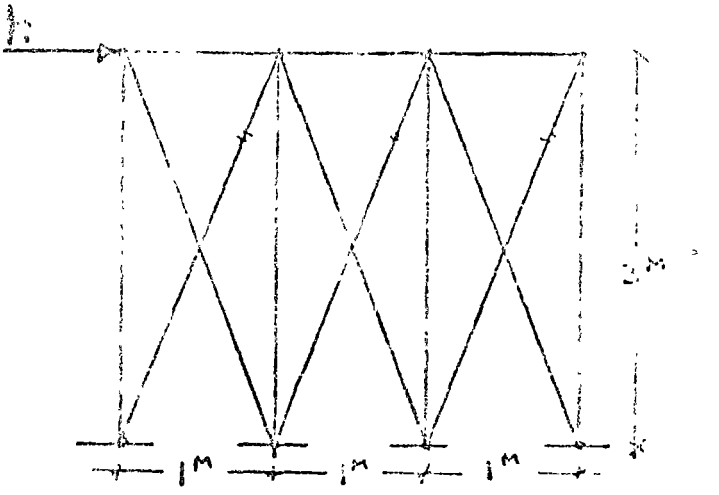


La fuerza lateral será la mayor de 100 lb/pie (150 Kg/M) ó el 2% de la carga muerta total como carga uniformemente distribuida por metro lineal del lado de la losa (L): si L = 4.5 M.

$$H_{2\%CM} = 240 \times 4.5 \times 0.02 = 22\ Kg/M < 150\ Kg/M$$

$$\therefore\ H = 150\ Kg/M$$

$h = 150 \times 1.5 = 225\ Kg$



Al considerar que todas las uniones son articuladas, solo las diagonales a compresión (puntales) trabajan y que la carga es tomada en partes iguales; la carga que toma cada puntal es.

$$R = \frac{h}{3} \times \sqrt{10}$$

$$\therefore\ R = 238\ Kg$$

DIRECTORIO DE PROFESORES

PROYECTOS Y USOS ESTRUCTURALES DE LA MADERA

DR. RAMON ECHENIQUE MANRIQUE
INVESTIGADOR
INSTITUTO DE BIOLOGIA, UNAM
APARTADO POSTAL 70-233
MEXICO 20, D.F.
TEL: 550.52.15. ext. 4877

ING. FEDERICO MARTINEZ DE HOYOS
DIRECTOR GENERAL TECNICO
CONSTRUCTORA ELEFANTE, S.A.
AV. DE LA PAZ No. 12
SAN ANGEL
MEXICO 20, D.F.
TEL: 550.30.23; 550.35.66 ó 548.88.43

ARQ. JAIME ORTIZ MONASTERIO
PROFESOR
FACULTAD DE ARQUITECTURA, UNAM
CIUDAD UNIVERSITARIA
MEXICO 20, D.F.
TEL: 553.41.28

ING. JOSE OSIO
INVESTIGADOR
INSTITUTO DE INGENIERIA
UNAM
CIUDAD UNIVERSITARIA
MEXICO 20, D.F.
TEL: 548.54.79

ING. FRANCISCO ROBLES FERNANDEZ
JEFE DEL DEPTO. DE MATERIALES
UNIVERSIDAD AUTONOMA METROPOLITANA
AV. SAN PABLO S/N AZCAPOTZALCO
MEXICO 16, D.F.
TEL: 561.94.00 ó 561.37.33 ext. 205

ARQ. INNES WEBSTER
PROFESOR TITULAR
ASESOR DEL GRUPO SAHAGUN EN
ARQUITECTURA, UNAM
CD. UNIVERSITARIA
MEXICO 20, D.F.
TEL: 553.41.28

DIRECTORIO DE ASISTENTES AL CURSO DE PROYECTO Y USOS ESTRUCTURALES DE LA MADERA (DEL 1o. DE JUNIO AL 13 DE JULIO DE 1976)

NOMBRE Y DIRECCION	EMPRESA Y DIRECCION
1. ARQ. CHRISTIAN CARSTENSEN LANZ A. Prieto 1618-23 Col. del Valle México 12, D. F.	PETROLEOS MEXICANOS Bahía de Ballenas No. 5 México 17, D. F. Tel: 5-45-74-60 Ext. 3486
2. ARQ. RAUL DELGADO LAMAS Norte 46-A No. 3723 Col. E. Zapata México 14, D. F. Tel: 5-37-49-31	DIRECCION GENERAL EJIDAL FORESTAL DE LA SECRETARIA DE LA REFORMA AGRARIA Fray Servando Teresa de Mier 135-6o. Piso México 1, D. F. Tel: 5-88-21-41
3. FERNANDO ELIZALDE MARTINEZ Manuel González 380 Edif. Q Roo B-208 Col. Guerrero México 3, D. F.	PETROLEOS MEXICANOS Bahía de Ballenas No. 5 Edif.1810 Col. Anáhuac México, D. F.
4. ARQ. OSVALDO GOMEZ DUARTE Tepehuanos No. 8 Col. Chimalcoyotl México 22, D. F. Tel: 5-73-12-09	RARAMURI CONSTRUCCIONES Tepehuanos No. 8 México 22, D. F. Tel: 5-73-12-09
5. ING. ADOLFO MARTINEZ AGUILAR Campesinos 133 Edif. B-2-83 Col. Esmeralda México 13, D. F. Tel: 5-81-81-64	FONDO NACIONAL DE FOMENTO EJIDAL Alvaro Obregón 223-2o. Piso Col. Roma México 7, D. F. Tel: 5-14-82-96
6. FERNANDO MARTINEZ AVILA Av. Morelos 595 Col. Magdalena Mixcoac México 8, D. F. Tel: 5-38-03-63	CIA. CONSTRUCCIONES PAPANOA Calle Fuego 622 Col. Jardines del Pedregal México 20, D. F. Tel: 5-68-15-76
7. ING. FRANCISCO MONCAYO RUIZ Capricornio No. 56 Praco Churubusco México 21, D. F.	ESCUELA DE INGENIEROS EN TECNOLOGIA DE LA MADERA UNIVERSIDAD DE SAN NICOLAS DE HIDALGO Morelia, Mich.

DIRECTORIO DE ASISTENTES AL CURSO DE PROYECTO Y USOS ESTRUCTURALES DE LA MADERA (DEL 1o. DE JUNIO AL 13 DE JULIO DE 1976)

NOMBRE Y DIRECCION	EMPRESA Y DIRECCION
8. ING. JOVITO MUCIÑO GARCIA Av. Arteaga y Salazar No. 598 Contadero Cuajimalpa México 18, D. F. Tel: 9158120253	
9. ARQ. HUMBERTO NUÑEZ MORA Berlioz No. 180-8 Col. Ex-Hipodromo México 2, D. F.	INGENIERIA DE SISTEMAS DE TRANSPORTE METROPOLITANO Minería No. 145 Entrada 5 P.B. Col. Escandón México 18, D. F. Tel: 5-16-04-60 Ext. 486
10. ARQ. JORGE PENSADO GOMEZ Lago Camecuaro 926 Col. U. Puente Morelia, Mich. Tel: 2-55-38	UNIVERSIDAD MICHOACANA ESCUELA DE TECNOLOGIA DE LA MADERA Morelia, Mich.
11. LIC. ARTURO QUINTANA PEÑAFIEL Periferico Sur 3301 Edificio F-401 Pedregal de San Angel México 20, D. F. Tel: 5-68-44-97	A.Q. INDUSTRIAL, S. A. Oriente 233 No. 46 Col. Agricola Oriental México 9, D. F. Tel: 5-58-21-33
12. FRANCISCO ROBLES GALVEZ Av. Francisco del Paso No. 620 I-106 Col. Jardín Balbuena México 9, D. F.	INSTITUTO NACIONAL DE INVESTIGACIONES FORESTALES Av. Progreso No. 5 Col. Coyoacan México 21, D. F. Tel: 5-54-04-22
13. ING. ALFREDO SOLIS SANCHEZ México, D. F.	PETROLEOS MEXICANOS Av. Marina Nacional No. 329 México, D. F.
14. ARQ. LUIS VARGAS ARRIOLA Paseo de la Reforma No.2540-3 Lomas México 10, D. F.	

Inscripción: $2,600.00
Coordinador: Ing. Federico Martínez de Hoyos

La cuota de inscripción incluye:

- **una carpeta con las notas de los profesores**
- **bibliografía sobre el tema**
- **servicio de cafetería**
- **comidas**

INSCRIPCIONES

CENTRO DE EDUCACION CONTINUA DE LA DIVISION DE ESTUDIOS SUPERIORES DE LA FACULTAD DE INGENIERIA, U. N. A. M.

Palacio de Minería Calle de Tacuba No. 5 México 1, D.F.

Horario: lunes a viernes de 9 a 14 h y de 16 a 18 h.

CONSTANCIA DE ASISTENCIA

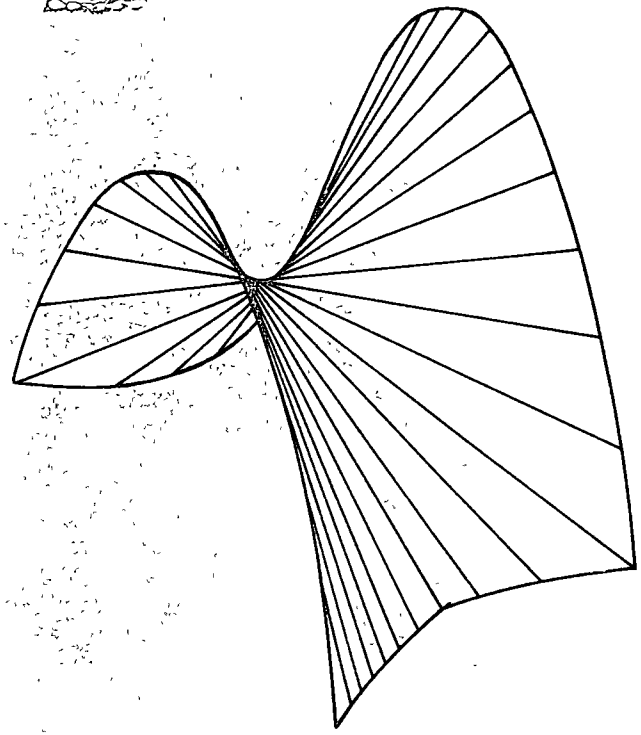
Las autoridades de la Facultad de Ingeniería de la U N A M, otorgarán una constancia de asistencia a los participantes que concurran regularmente y que realicen satisfactoriamente los trabajos que se les asignen durante el curso

Para mayores informes hablar a los teléfonos:
521-40-23 • 521-73-35 y 512-31-23

CIRCULA LIBRE DE PORTE
POR VIA DE SUPERFICIE
Y DENTRO DEL TERRITORIO NAL.
ART. 17 LEY ORGANICA DE LA U N A M

centro de educación continua
división de estudios superiores
facultad de ingeniería, u n a m

Palacio de Minería
Calle de Tacuba No. 5
México 1, D.F.



PROYECTO Y USOS ESTRUCTURALES DE LA MADERA

CURSO INTENSIVO

Duración: 36 h.
Fechas: del 1o. de junio al 13 de julio
Horario: martes y jueves de 18 a 21 h.

centro de educación continua
división de estudios superiores
facultad de ingeniería, u n a m

OBJETIVOS

Presentar en forma general los principios de proyecto, diseño y construcción de estructuras y elementos de madera en forma sencilla y práctica
Resolver, en forma inicial, problemas de proyecto arquitetónico, diseño de cimbras frecuentes en la construcción, obras falsas y estructuras auxiliares
Se hará especial énfasis en los aspectos de cimbras y obras falsas así como en los usos arquitectónicos y en vivienda, pues es de gran utilidad incorporar a las alternativas de solución a los problemas de los ingenieros de construcción y de los arquitectos proyectistas el uso de la madera

PRESENTACION

Con base en los lineamientos que han servido para el planteamiento del nuevo reglamento de construcciones del DDF y la revisión de especificaciones de la SOP, se presentan las normas de diseño de elementos de estructuras sencillas,a fin de que, una vez tomado el curso, los asistentes puedan resolver problemas a este nivel, o bien profundizar en el tema que les sea de interés Así mismo serán expuestos los temas de construcción, adquisición, maniobras y demás relativos a las generalidades necesarias para realizar construcciones con este material a fin de apuntar el criterio práctico en dirección adecuada.

A QUIEN VA DIRIGIDO

A ingenieros y arquitectos de construcción, arquitectos proyectistas, estudiosos del tema, y a quienes deseen entrar en el conocimiento de la madera.

TEMARIO

I La madera, material estructural,
Introducción
Antecedentes históricos, la madera en México

II Recursos forestales de México
Su distribución
Propiedades y características de la madera

III Tratamiento y preservación
Plagas, pudrición, incencio, etc

IV Los reglamentos de construcción
Sus bases
Distintos enfoques. (DDF, SOP, etc)

V Conectores.
En todas sus modalidades
Cómo se utilizan.
Ejemplos típicos

VI Fabricación de la madera
Diferentes fabricaciones y presentaciones
Tablas, tableros, madera laminada, etc

VII Comportamiento y diseño de miembros sujetos a diferentes condiciones de carga
Miembros en tensión, comprensión, flexión, esfuerzos combinados

VIII Armaduras
Tipos de armaduras, claros, conexiones, diseño de miembros, etc

IX Uniones
Casos especiales
Uniones a otros materiales
Dimensionamiento
Ejemplos

X Cimbras.
Obras falsas
Requisitos de cimbras y obras falsas
Materiales (madera, conectores, materiales diversos)
Principios generales para el diseño
Cargas
Esfuerzos permisibles, Deflexiones
Cimbras de elementos típicos
Ejemplos

XI Usos arquitectónicos de la madera.
Espacios que genera
Formas
Calidades
Claros
Texturas.

XII Usos de la madera en vivienda
Su uso en los diferentes elementos y su integración
Uso residencial
Vivienda media, de interés social
Prefabricación.

XIII Aspectos prácticos de la construcción con madera
Construcción
Adquisición
Transporte
Manejo
Maquinaria para madera
Maniobras
Montaje
Inspección
Supervisión

XIV Seminario

PROFESORES:

- Dr. Ramón Echenique Manrique.
  Investigador
  Instituto de Biología, UNAM
- Ing. Federico Martínez de Hoyos
  Director General Técnico
  Constructora Elefante, S A
- Arq Jaime Ortíz Monasterio
  Profesor
  Facultad de Arquitectura, UNAM
- Ing José Osio
  Investigador
  Instituto de Ingeniería, UNAM
- Ing Francisco Robles Fernández
  Jefe del Depto de Materiales
  Universidad Autónoma Metropolitana
- Arq. Innes Webster
  Profesora Titular
  Asesor del Grupo Sahagún
  en Arquitectura, UNAM.

Cualquier garantía implícita o expresa en conexión con la venta de este producto será nula si los productos no son almacenados e instalados de acuerdo a las especificaciones requeridas por YESO PANAMERICANO, S. A. de C. V.

Mantenimiento

Lavar con una esponja ligeramente húmeda o limpiar con aspiradora. Repintar en caso necesario de la mejor calidad para asegurar un acabado uniforme.

Limitaciones

La instalación de los paneles YPSA* Panacoustic no debe iniciarse sino hasta que la humedad de aplanados (yeso o concreto), de losas (de piso o entrepaño) y de instalaciones (hidráulicas y sanitarias) se hayan eliminado. Los paneles YPSA* Panacoustic están diseñado para ser instalados y para uso en condiciones normales entre 10° y 30°C. y una humedad relativa no mayor de 80% (estos límites también se deben observar durante su almacenaje, principalmente en la obra).

Los paneles YPSA* Panacoustic son acabados de fábrica por lo que su instalación debe hacerse hasta después de terminar totalmente las instalaciones eléctricas, de plomería, de teléfonos e intercomunicación, de alumbrado, de sonido, etc., y haber sido probadas y aceptadas por el Residente de la obra. De esta manera el plafón no sufrirá daños, ya que su manejo requiere limpieza. En caso de requerir registrabilidad arriba del plafón será necesario construir pasarelas para el efecto, las que deberán soportarse independientes a la suspensión del plafón.

ATENUACION DE SONIDO — DECIBELES

FRECUENCIA EN BANDA CENTRAL

Espesor 16 mm	Suspensión Visible	125	175	250	350	500	700	1000	1400	2000	2800	4000	STC
	Interrumpida	.33	136	.32	.35	.38	.48	.48	.53	.55	.58	.58	40-45
	Continua	.29	.35	.29	.34	.34	.38	.45	.46	.56	.55	.54	

COEFICIENTES DE ABSORCION DE SONIDO

FRECUENCIA EN BANDA CENTRAL — HZ

Suspensión Visible	125	250	500	1000	2000	4000	CRR	SS-S-118a R. F.	Indice E-84 P. F.	R. L.
Interrumpida	.32	.38	.61	.75	.59	.54	55-65	25	25	A
Continua	.37	.46	.74	.94	.81	.79	70-80			

Abreviaturas: R F · Resistencia a Flama, P F Propagación a flama; STC. Clasificacion por Transmisión de Sonido; R L · Indice de Luz; C R R Coeficiente de Reducción de Ruido

Nota: Suspension Visible — Interrumpida es aquella que se corta en cada muro divisorio
Suspensión Visible — Continua es aquella que se continúa sobre cada muro divisorio.

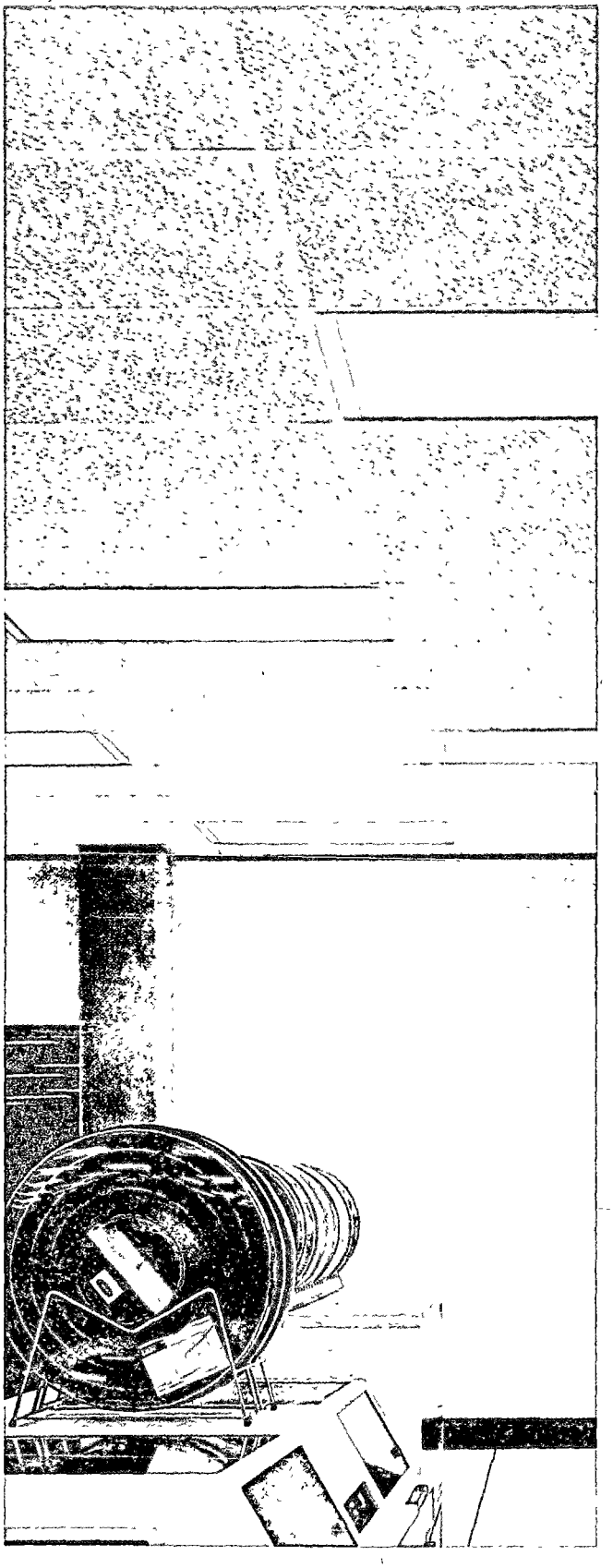
Resistencia Térmica — Resistencia de un material para que conduzca el calor, es recíproco al coeficiente de transferencia térmica (1/k). Es un coeficiente conveniente ya que representa la cantidad de calor que puede pasar por un material homogéneo por hora, por metro cuadrado, por centímetro, por espesor C° de temperatura, la diferencia entre las dos superficies del material.

cs-06-ago 75

YESO PANAMERICANO, S. A. DE C. V.
Insurgentes Sur 540 México 7, D. F.
Tel. 564-8411

Paneles acústicos e incombustibles para plafones

YPSA* Panacoustic



Los Paneles YPSA* Panacoustic para plafones están fabricados con fieltro de lana mineral incombustible y para brindar un balance óptimo en el control acústico (absorción y atenuación de sonido). Los paneles YPSA* Panacoustic para sobreponer se instalan con el sistema de suspensión visible, lo cual permite ocultar las instalaciones de servicios y de equipos, con un plafón 100% registrable.

La instalación se recomienda en lugares donde los paneles no estén continuamente expuestos a altas humedades (mayores del 80% de H. R.) ni a bajas alturas evitándo así el que queden expuestos a impactos y raspaduras.

El acabado de los paneles YPSA* Panacoustic consiste en una capa blanca de pintura vinílica lavable, aplicada en fábrica y resistente al calor, para facilitar su mantenimiento.

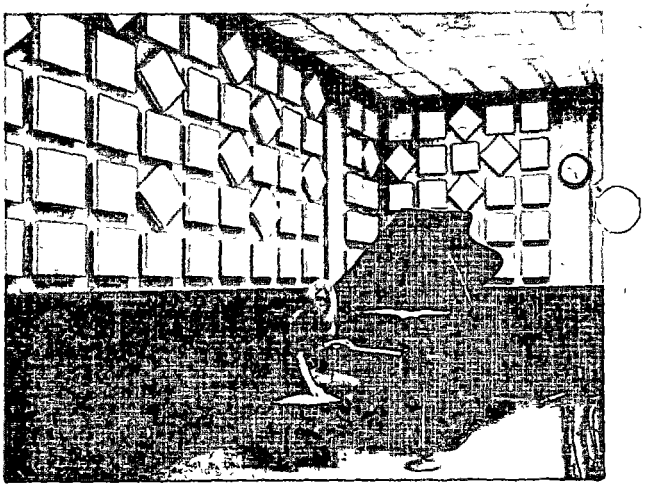
Los paneles YPSA* Panacoustic son fáciles de instalar y permiten un rápido avance en la obra. Para mayor protección del material y reducir el desperdicio en la obra, se recomienda que la suspensión y los paneles se instalen después de terminadas todas las instalaciones. Consúltenos directamente o a través de nuestra amplia red de Distribuidores-Instaladores Autorizados.

Los paneles YPSA* Panacoustic para plafones se ofrecen en color Blanco y en nuestro exclusivo modelo FISSURA. Sus dimensiones nominales son 61cm. x 122cm., especiales para reticulas de suspensión con esas distancias entre centros de los elementos de soporte. El embalaje de los paneles YPSA* Panacoustic contienen 8 piezas con una superficie total de 5.954 m^2 y cuyo peso neto aproximado es de 4.4 kg/m^2.

Acoustone* Módulo Acústico

METODO MODERNO Y SENCILLO PARA AUMENTAR LA ABSORCION DE SONIDO. Estas placas de 4 cms. de grueso (30.5 x 30.5 cms) están diseñadas especialmente para aumentar el control de sonido, ya que controlan la reverberación. Pueden emplearse en muros o techos y sirven como elemento primario acústico, o para control acústico donde las condiciones existentes y/o económicas no permiten la instalación de materiales acústicos en todo el espacio arquitéctónico.

Su atractivo acabado complementa cualquier interior. Sus texturas básicas — Finesse, Estriado y Glaciar — permiten escoger aquella que mejor armoniza con los diseños interiores del local, y elimina el eco de salas de conferencias, iglesias, auditorios, conchas deportivas cerradas, vestíbulos, etc. Las investigaciones han demostrado que el tiempo de reverberación varía de acuerdo a las necesidades.



T, tiempo de reverberación

Oficinas Pequeñas	.50 a .75 seg.
Salones de clase y Auditorios	.75 a 1.0 seg.
Salones de Trabajo	1.0 a 2.0 seg.
Música de Cámara	1.0 a 1,5 seg.
Orquestas y Coros	1.5 a 2.0 seg.
Organo y Coros Litúrgicos	2.0 seg. o más.
Salas de Práctica (Música)	.80 a 1.0 seg.

El tiempo de reverberación se calcula con la siguiente fórmula:

$$T = \frac{0.05V}{A}$$, donde **T** es en segundos, **V** en piés cúbicos, y **A** en sabins

(V = volúmen del local)

(Un sabin es el equivalente a 0.093m^2 —1 pie cuadrado— de material cuyo coeficiente de absorción es de 1.00.)

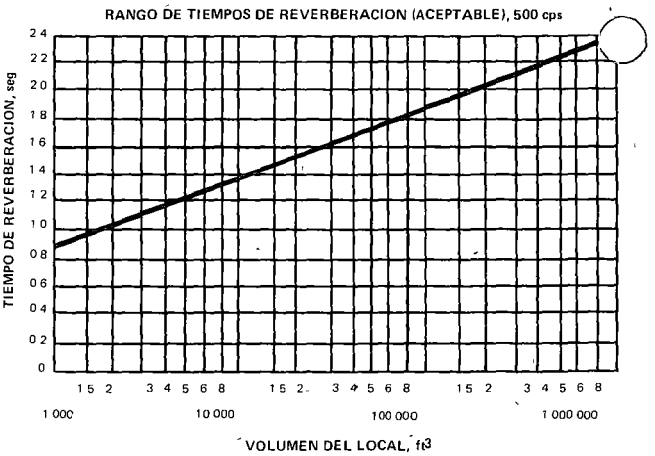
El coeficiente de absorción del Módulo Acústico ACOUSTONE* lo dá la siguiente tabla (sabins/pza):

FRECUENCIA, CPS

MONTAJE	TIPO	125	250	500	1000	2000	4000	NRC
Hilera	Glaciar	.29	87	1.66	1,89	1.77	1.56	1.55
40 cms.	Estriado	.41	1 02	1.67	1,77	1.73	1.60	1.55
C A.C.	Finesse	.42	1.02	1.68	1.78	1.60	1.33	1.52

Abreviaturas c a.c, centro a centro NRC, coeficiente de reducción de ruido

La parte inferior de la banda se emplea en cuartos donde lo que interesa es la palabra hablada; la parte superior para salas de conciertos e iglesias donde se le dá énfasis a la música, y la banda media para locales de uso general. (ver gráfica)



Para mayores informes sobre los productos ACOUSTONE* consulte a nuestro departamento de SERVICIO TECNICO

YESO PANAMERICANO, S. A. DE C. V.

INSURGENTES SUR 540 TEL.: 564-84-11

MEXICO 7, D. F.

elementos de soporte. El embalaje de los Paneles YPSA* contiene 6 piezas con una superficie total de 4.464 m^2., y cuyo peso neto aproximado es de 7.35 kg/m^2.

Mantenimiento

Lavar con una esponja ligeramente húmeda o limpiar con aspiradora repintar en caso necesario con pintura de la mejor calidad para asegurar un acabado uniforme (La pintura acrílica TEXTONE* es muy recomendable).

Limitaciones

La instalación de Panel YPSA* para sobreponer no debe iniciarse sino hasta que la humedad de aplanados (yeso o concreto), de losas (de piso o entrepiso) y de instalaciones (hidráulicas y sanitarias) se hayan eliminado. El Panel YPSA* está diseñado para ser instalado y para uso en condiciones normales entre 10° y 30°C, y una humedad relativa no mayor de 80% (estos límites también se deben observar durante su almacenaje, principalmente en la obra).

Los Paneles YPSA* para sobreponer son acabados de fábrica por lo que su instalación debe hacerse hasta después de terminar totalmente las instalaciones eléctricas, de plomería, de teléfonos e intercomunicación, de alumbrado, de sonido, etc., y haber sido aprobadas y aceptadas por el residente de la obra. De esta manera el plafón no sufrirá daños, ya que su manejo requiere limpieza.

Cualquier garantía implícita o expresa en conexión con la venta de este producto será nula si los productos no son almacenados, manejados o instalados de acuerdo a las especificaciones establecidas por YESO PANAMERICANO, S. A DE C V.

YESO PANAMERICANO, S. A. DE C. V.
Insurgentes Sur 540 México 7, D. F.
Tel. 564-8411

Panel de sobreponer para plafones

Panel texturizado YPSA*

El Panel Texturizado YPSA* de sobreponer para plafones es un panel de yeso que consta de un núcleo incombustible recubierto con papel y un terminado texturizado de gran belleza y resistencia.

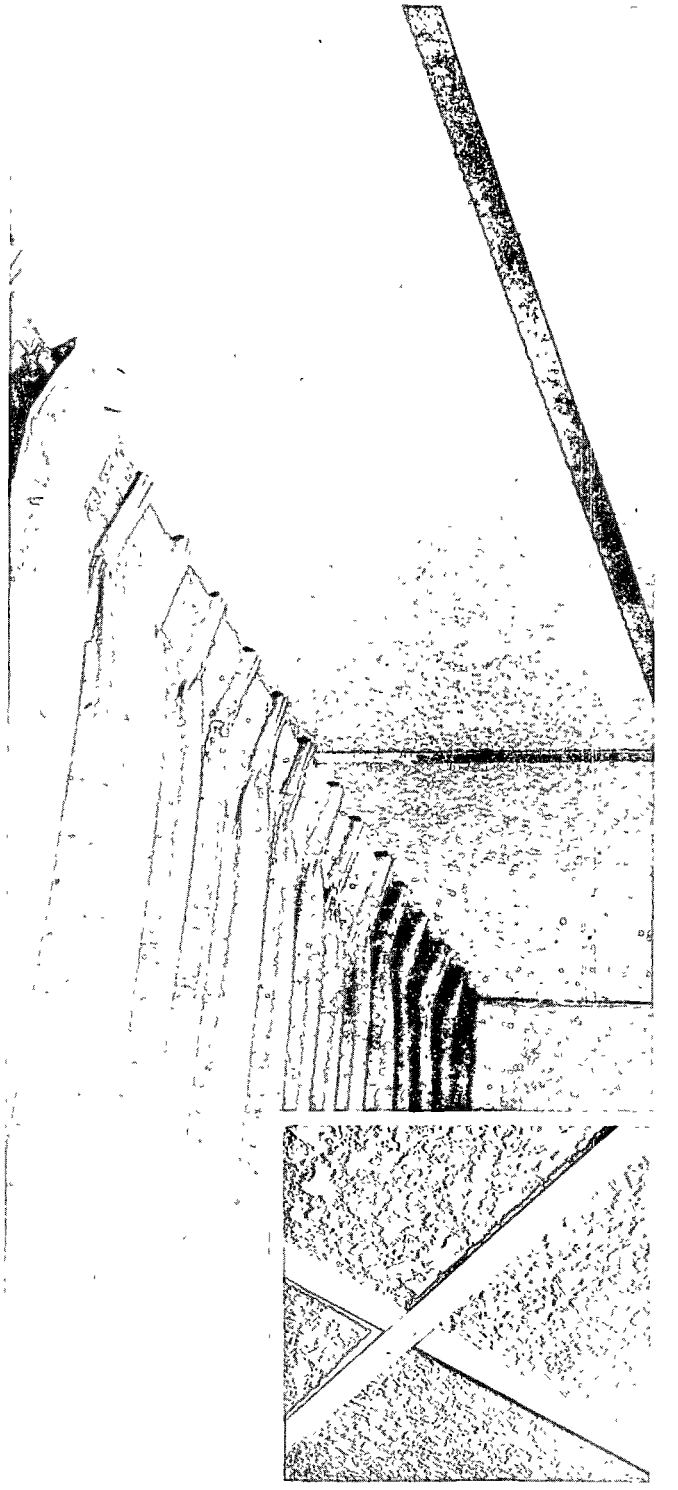
Los Paneles Texturizados YPSA* se instalan con el sistema de suspensión visible lo cual permite ocultar las instalaciones de servicios y de equipos, con un plafón 100% registrable.

En caso de requerir tránsito en la cámara plena deberán instalarse "pasos de gato" estratégicamente y soportados independientemente del plafón. La instalación se recomienda en lugares donde los Paneles no estén continuamente expuestos a altas humedades (mayores a 80% de H. R.), ni a bajas alturas evitando así el que queden expuestos a impactos y raspaduras.

El acabado de los Paneles YPSA* es un texturizado de fábrica a base de pintura acrílica y agregados pétreos, según nuestra propia formulación. Este panel también se ofrece sin texturizar para aplicar el acabado en la obra con el toque personal del diseño arquitectónico.

El Panel para sobreponer YPSA* es fácil de instalar y permite rápido avance en la obra. Para mayor protección del material y reducir el desperdicio en la obra se recomienda que la suspensión y los paneles se instalen después de terminadas todas las instalaciones. Consúltenos directamente o a través de nuestra amplia red de Distribuidores-Instaladores Autorizados.

Los Paneles YPSA* para sobreponer se ofrecen con o sin texturizado. Sus dimensiones nominales son 61 cms. x 122 cms., especiales para retículas de suspensión con esas distancias entre centros de los



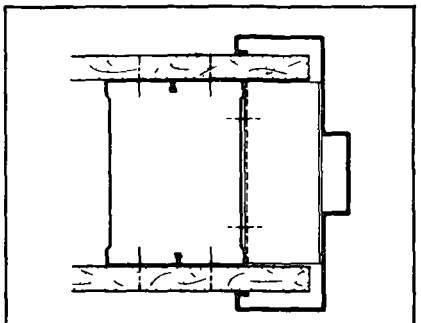
Acabado de fábrica (Foto grande)

Acabado en obra (Foto pequeña)

Para lograr la mayor comodidad dentro de la más amplia economía, se escogió el material TEXTONE, también fabricado por Yeso Panamericano, S.A. de C.V., acabado de muros y plafones en cuartos, suites, salón de convenciones, etc.

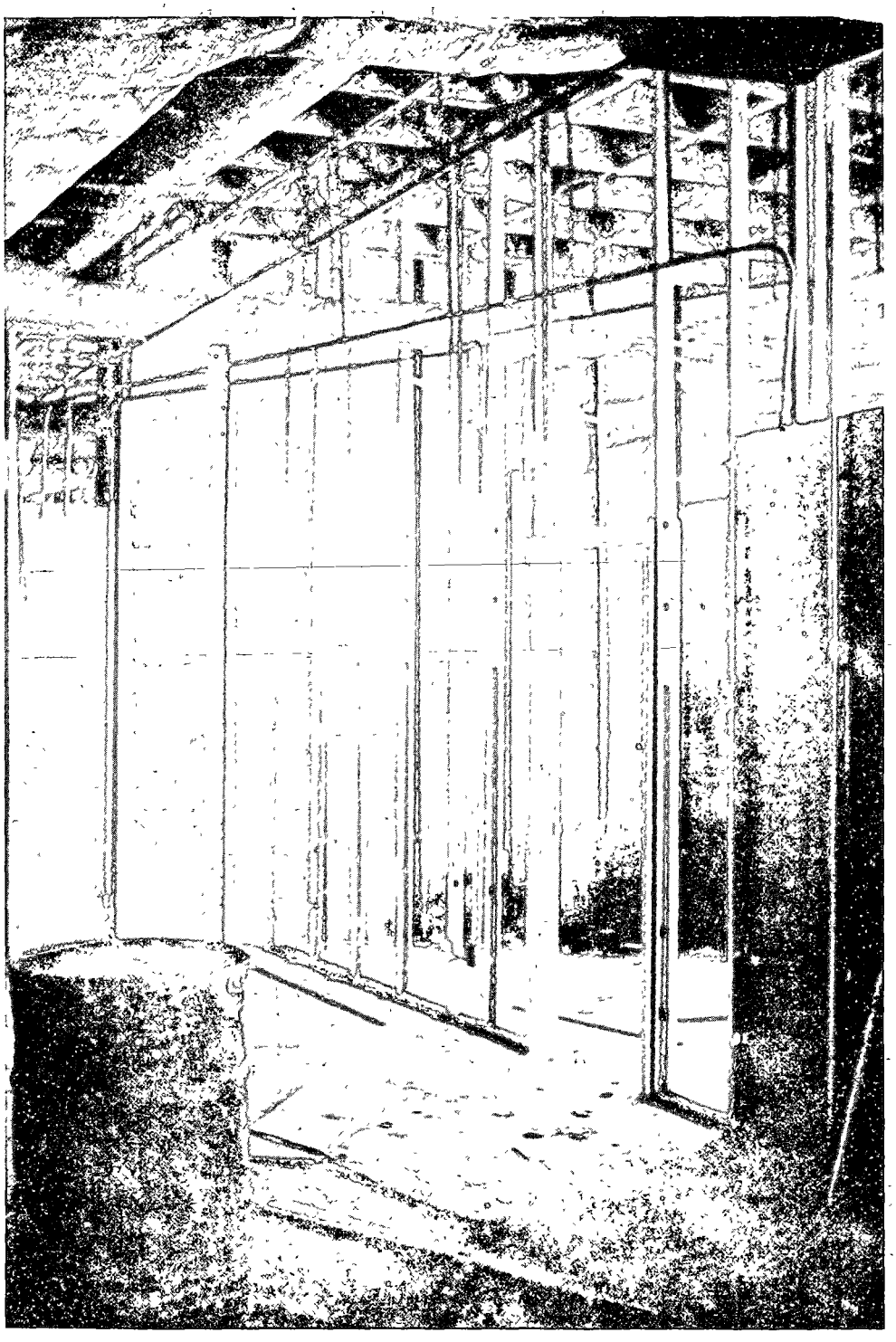
TEXTONE es una pintura diseñada especialmente para producir texturas sobre superficies tales como panel de yeso SHEET ROCK, yeso, etc.

Las texturas que se pueden lograr son infinitas, ya que se aplica en espesores delgados y hasta de 3 mm. con diferentes herramientas, equipos y procedimientos. De este modo se pueden lograr decorados diversos, en función del tipo de construcción de que se trate.



Detalle en planta de un marco de puerta y un muro con panel de yeso.

Muro con panel de yeso, colocado de un lado y listo para cubrirse por el otro.



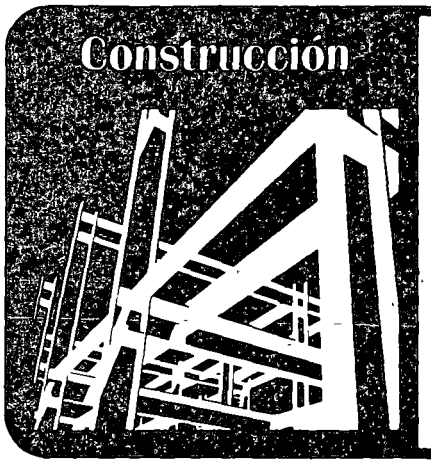
PLAFONES ACUSTICOS:

Por lo que respecta a los plafones acústicos, con losetas ACOUSTONE a base de lana mineral, se puede decir que cumplen con los dos requisitos básicos de acústica que se requirieron en esta construcción:

a) absorción y b) impedir el paso del sonido. Se especificaron además, por su capacidad de protección contra el fuego y la calidad de acabados que proporciona. Se fabrican en diferentes texturas y tamaños, y pueden colocarse mediante diferentes sistemas de suspensión: oculta, visible, adhesiva, etc., en función de las necesidades decorativas y funcionales de cada caso.

Esta variedad de texturas, tamaños y sistemas de suspensión, ofrecen al arquitecto y al decorador una gama muy amplia para poder lograr los efectos necesarios para cada obra.

En gran medida, gracias al uso de estos sistemas modernos para construir muros y plafones, asi como a la coordinación lograda con la ejecución de instalaciones eléctricas, mecánicas, hidráulicas, acabados, etc., el Hotel Acapulco Princess pudo terminarse en un tiempo récord, en beneficio directo al capital invertido, que empezó a trabajar en un término mucho menor que si se hubieran usado sistemas convencionales.

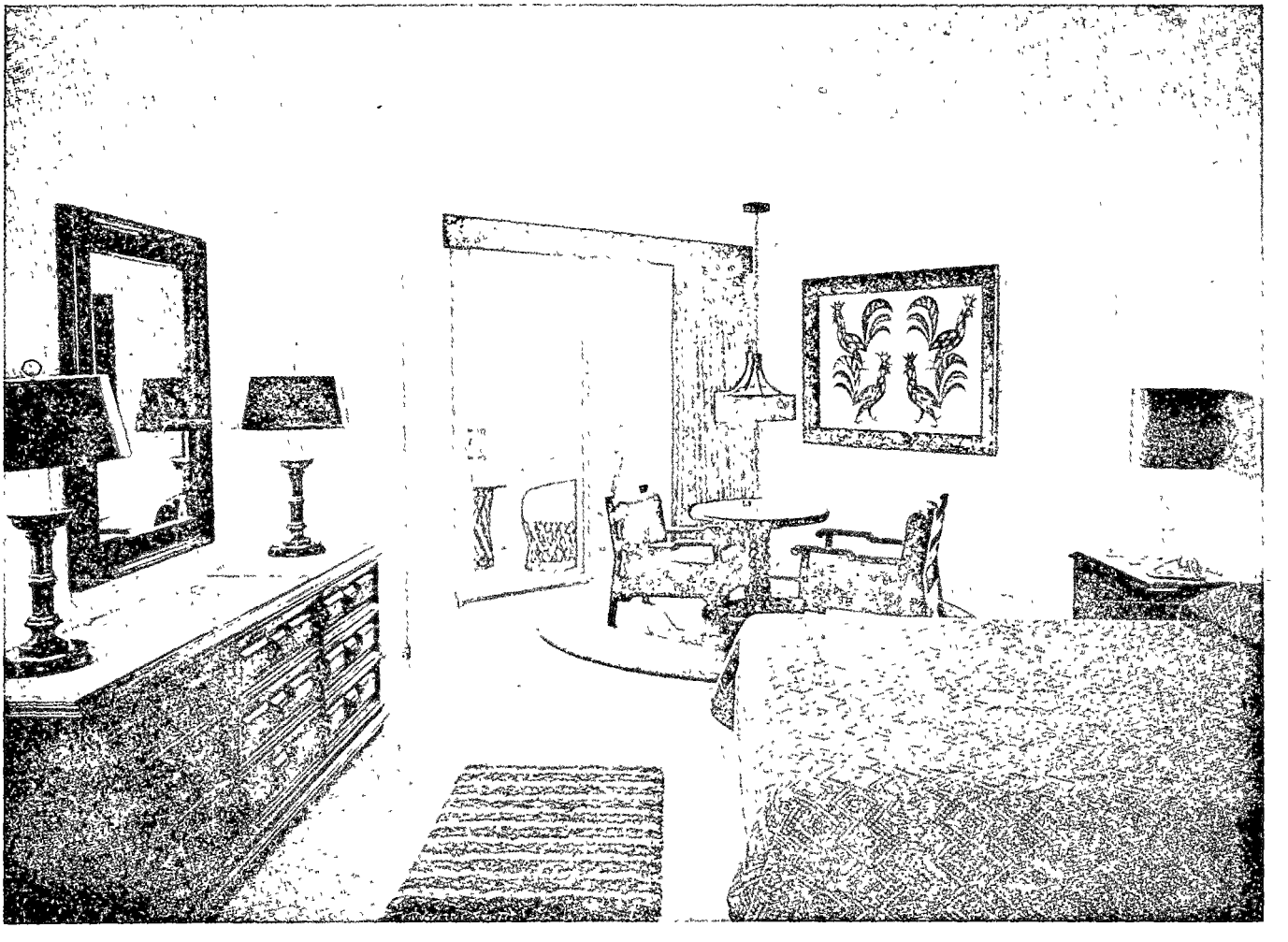


Hotel Acapulco Princess
El sistema de muros y plafones

LOS SISTEMAS para construir muros y plafones que se utilizaron en el Hotel Acapulco Princess fueron a base de panel de yeso prefabricado SHEETROCK y, además, donde hubo necesidad de instalar plafón acústico, se utilizó la loseta acústica ACOUSTONE. Ambos productos y sistemas son fabricados en México por YESO PANAMERICANO, S. A. de C.V.

La selección de estos sistemas se debió a las grandes ventajas que proporcionan, sin las cuales, el tiempo de ejecución de la obra, así como su costo, se hubieran elevado considerablemente. El tiempo que tomó la construcción de muros y plafones fue

Muros y plafones de una suite, construidos con panel de yeso SHEETROCK y acabados con pintura TEXTONE.



plafones acústicos

descripción

SHEETROCK*, Paneles de Yeso para plafones y Muros Divisorios. (Véase también la sección de Muros Divisorios.)
El sistema de plafones de YESO PANAMERICANO, S.A. DE C V. con paneles de yeso Sheetrock*, consiste de una estructura metálica (de lámina galvanizada), a la cual se fijan o en la cual se suspenden los paneles.

especificaciones

Panel de Yeso SHEETROCK*, de 10, 13 y 16 mm de espesor, de 1 22 m de ancho, por longitudes desde 2.40 m.
Panel de Yeso YPSA* LAY-IN para sobreponer, de 10 y 13 mm de espesor, de 61 cm de ancho por 1 22 m de longitud, liso sin acabado o con acabado de pintura TEXTURIZADA
Canal Listón YPSA* para recubrimiento de Plafones y Muros

instalación

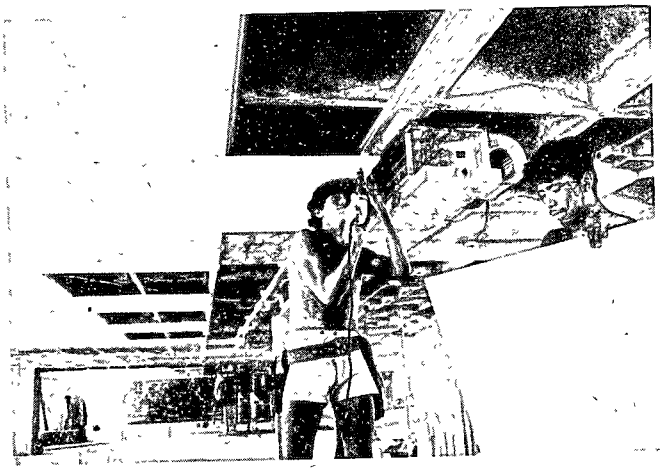
SISTEMA OCULTO

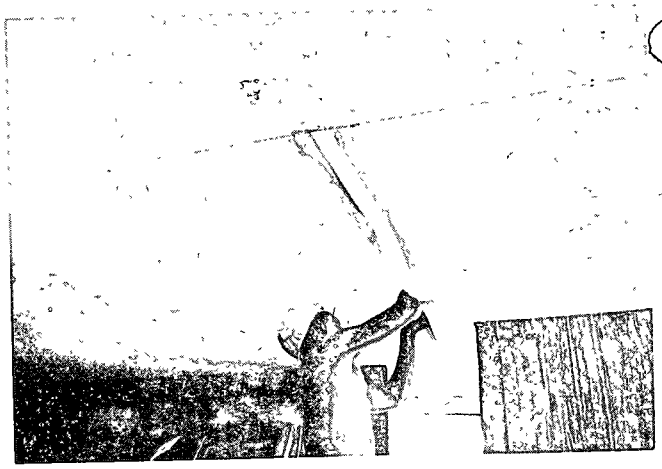
1. Fijar el Canal Listón al entrepiso o estructura.
2. Fijar el panel de Yeso SHEETROCK* a los Canales Listón con tornillos especiales autorroscantes
3. Reforzar juntas y desvanecerlas con el Sistema de Tratamiento de Juntas YPSA* (3)
4. Emplastecer y Desvanecer las depresiones originadas por los tornillos con Cemento REDIMIX* (3).
5. Su PLAFON ESTA LISTO PARA RECIBIR EL ACABADO FINAL

SUSPENSION VISIBLE

1. Colocar colgantes de alambre galvanizado cal 10, a cada 1 22 × 0 61 mts.
2. Sujetar los perfiles TE de Lámina esmaltada o de aluminio, del calibre adecuado, a 61 × 61 cm c a.c.
3. Verificar el reticulado y su nivelación
4. Colocar los paneles YPSA* LAY-IN para sobreponer, con el acabado deseado

NOTAS (1) Las estructuras están calculadas para soportar el peso del plafón únicamente
(2) En falsos plafones, estos deberán tener una área de ventilación libre de 35 cm² por m² de plafón
(3) Estos pasos pueden omitirse cuando el plafón servirá de base para instalación de losetas acústicas con adhesivo





ventajas

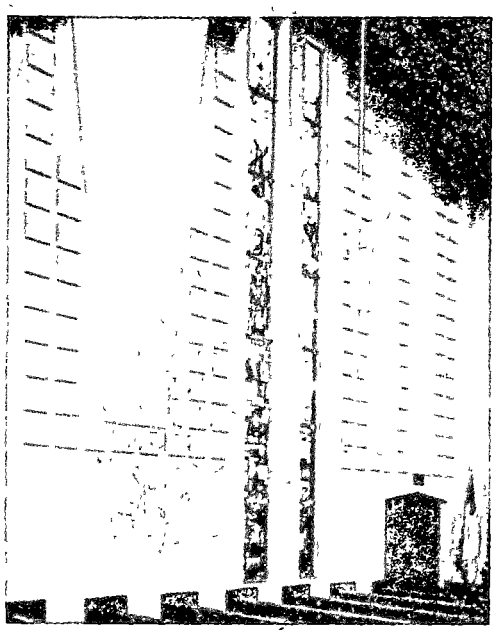
Ligereza. Desde 10 Kg/m²
Acústica. Desde 35 STC, la combinación de Panel de Yeso Sheetrock* y losetas acústicas Acoustone* proporciona una insuperable condición ACUSTICA y CONTRA INCENDIO

Yeso Panamericano, S.A. de C.V.
Insurgentes Sur 540. México 7, D.F.
Tel. 564-84-11

plafones acústicos

descripción

Módulo Acústico ACOUSTONE * método moderno y sencillo para aumentar la absorción del sonido.
El Módulo Acústico ACOUSTONE* es una placa de 30.5 × 30.5 cm., de 4 cm. de espesor, fabricado en México por YESO PANAMERICANO, S.A. DE C.V., bajo la técnica y normas de calidad de la UNITED STATES GYPSUM CO.
El Módulo Acústico ACOUSTONE* se fabrica con lana mineral y está diseñado especialmente para aumentar el control de sonido, por medio del control de la reverberación. (Método de Instalación por Adhesivo).



especificaciones

El coeficiente de absorción de sonido del Módulo Acústico ACOUSTONE* es función del tipo de Montaje y del tipo de textura, la siguiente tabla proporciona este coeficiente (sabins por pza), para seis frecuencias, y el NRC (coeficiente de Reducción de Ruido) para tres texturas diferentes.

Montaje	Textura	.125	250	500	1000	2000	4000	NRC
Retícula 40 cm, c a c	Glaciar	25	74	1 71	1 92	1 79	1 59	1 54
	Estriado	33	99	1 66	1 79	1 73	1 58	1 54
	Finesse	36	1 06	1 71	1 79	1 64	1 38	1 55
Retícula 60 cm, c a c	Glaciar	24	74	1 76	2 13	2 01	1 71	1 66
	Estriado	35	1 01	1 79	1 97	1 94	1 69	1 68
	Finesse	37	1 08	1 80	1 96	1 85	1 48	1 67
Retícula 80 cm, c a c	Glaciar	22	81	1 88	2 28	2 16	1 83	1 78
	Estriado	31	92	1 82	2 09	2 06	1 85	1 72
	Finesse	32	93	1 85	2 13	1 95	1 54	1 72
Hilera 40 cm, c a c	Glaciar	29	87	1 66	1 89	1 77	1 56	1 55
	Estriado	41	1 02	1 67	1 77	1 73	1 60	1 55
	Finesse	42	1 02	1 68	1 78	1 60	1 33	1 52

La parte inferior de la banda se emplea en los casos en que el interés se centra en la palabra hablada; la parte superior cuando el interés está en la música; y la zona media cuando el local es para uso general.

USOS

El Módulo Acústico ACOUSTONE* elimina los ecos y complementa la decoración en Salas de Conferencias, Iglesias, Auditorios, Salones de Baile, Canchas Deportivas Cerradas, Vestíbulos etc.

METODO DE CALCULO

Tiempo de Reverberación requerido en:	
Oficinas pequeñas	0.5-0.75 seg.
Salones de clase y Auditorios	0.75-1.0 seg.
Oficinas Grandes	1.0-2.0 seg.
Música de Cámara	1.0-1.5 seg.
Orquestas y coros	1.5-2.0 seg.
Organos y coros litúrgicos	2.0 seg. o más.
Estudios de Música	0.8-1.0 seg.

1 Seleccione el tiempo de reverberación, T, en segundos.
2 Seleccione la banda (frecuencia) en la que se requiere el tratamiento Acústico.
3. Obtenga (de la tabla) el valor del coeficiente de absorción de sonido, af, índice f, para la banda seleccionada, según el tipo de montaje y de la textura seleccionados
4. Calcule el Volumen del Local, V, en pies³
5. Substituya los valores de T, V, y af para obtener la cantidad de piezas del Módulo Acústico ACOUSTONE* requeridas, n, en la siguiente ecuación:

$$n = \frac{0.05\ V}{afT}$$

6 Al instalar esta cantidad de piezas de la Textura seleccionada en el tipo de montaje escogido, usted obtendrá el nivel de tiempo de Reverberación requerido en el local en cuestión.

NOTA Antes de efectuar el cálculo, compute el coeficiente de absorción de muros, cortinas, alfombras, muebles y personas que existen en el local, normalmente Ajuste el valor de af según el resultado obtenido

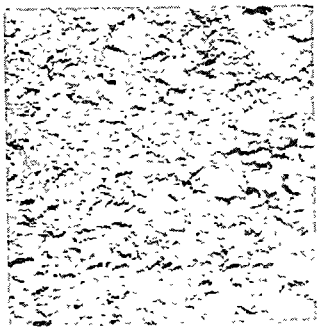
Yeso Panamericano, S.A. de C.V.
Insurgentes Sur 540. México 7, D.F
Tel. 564-84-11

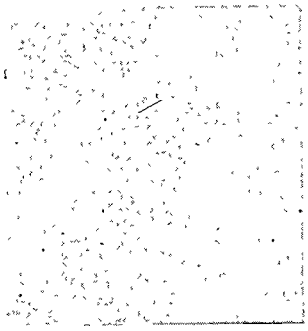
Ver Sección de Distribuidores

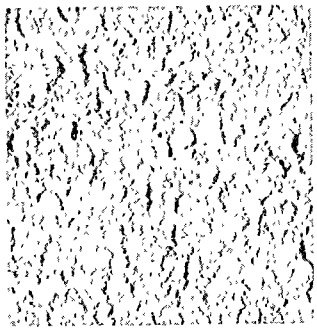
plafones acústicos

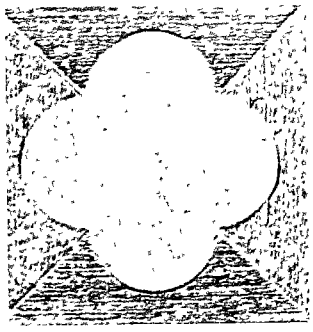
Fisurado. Textura veteada similar al mármol Travertino, de gran belleza
Glaciar. Textura rugosa y contrastante, que proporciona un agradable movimiento de claroscuros.
Finesse: Textura tersa y fina para lograr acabados conservadores y elegantes.
Decorado. Ocho diseños diferentes y la posibilidad de fabricar el suyo propio, mediante un proceso de grabado permanente (30.5 × 30.5 cm únicamente)

Medidas: 30 5 × 30 5 cm, 30.5 × 61 0 cm, 60.3 × 60 3 cm, y 61.0 × 61.0 cm.
Peso: 7.0 Kg/m², Texturas Fisurado, Finesse, y Decorado. 8.2 Kg/m², Textura Glaciar
Color: Blanco **Orilla:** Biselado, A Escuadra, y Línea de Sombra.


FISURADO


FINESSE


GLACIAR


DECORADO TREBOL

limitaciones

Las losetas ACOUSTONE* **no deben usarse** bajo condiciones continuas de alta humedad, ni en alturas menores de 1.80 m. o en lugares donde quedan expuestas al impacto o abrasión

instalación

La instalación de plafones con losetas ACOUSTONE* puede hacerse
a) utilizando un buen adhesivo de contacto no endurecible ni cristalizable (sólo se recomienda para los tamaños de 30.5 × 30 5 y de 30.5 × 61.0 cms), similar al PEGACOUSTONE YPSA*;
b). utilizando sistemas metálicos de suspensión
I Sistema de Suspensión Oculta Retícula de elementos de lámina galvanizada. **Cada loseta debe quedar soportada en sus cuatro lados.**
II. Sistema de Suspensión Visible. Retícula de elementos de lámina esmaltada o de aluminio **Cada loseta debe quedar soportada en sus cuatro lados.**

NOTA. La instalación no debe comenzarse hasta que la humedad de aplanados de yeso o concreto, losas e instalaciones sanitarias se haya eliminado. ACOUSTONE* está diseñado para instalación y uso en condiciones normales entre 10 y 30°C y una humedad relativa no mayor de 80%.
Para mayor información consulte a nuestro depto. de Servicio Técnico.

Yeso Panamericano, S.A. de C.V.
Insurgentes Sur 540. México 7, D.F.
Tel. 564-84-11

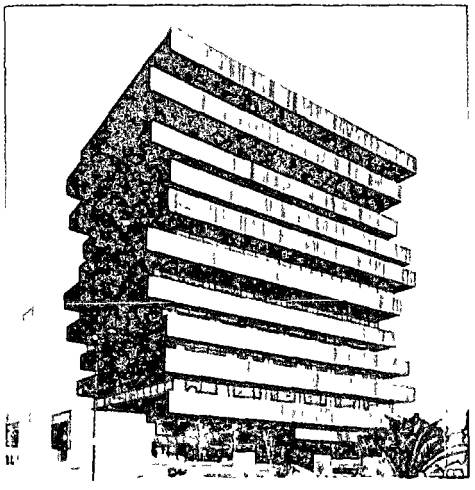
plafones acústicos

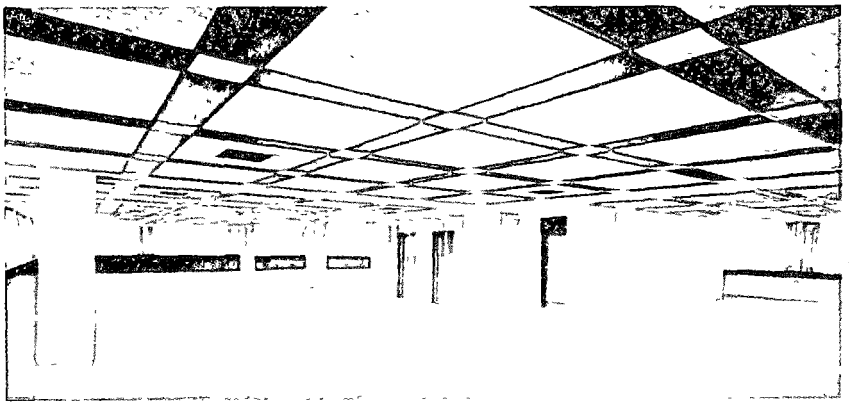
Yeso Panamericano, S.A. de C.V.

descripción

ACOUSTONE *, losetas acústicas de lana mineral.
Las losetas acústicas ACOUSTONE*, para plafones, son fabricadas en México por YESO PANAMERICANO, S.A. DE C.V., bajo las normas de Calidad y Especificaciones de la UNITED STATES GYSUM CO.

Las losetas ACOUSTONE* se fabrican con lana mineral logrando un producto LIGERO, INCOMBUSTIBLE, con excelentes propiedades ACUSTICAS y con un rango de TEXTURAS y DISEÑOS que virtualmente satisfacen las necesidades de cualquier espacio arquitectónico.





especificaciones

Los plafones con losetas ACOUSTONE* cumplen con las normas ASTM de incombustibilidad (Norma de Prueba ASTM E 84).

ABSORCION DEL SONIDO/ RESISTENCIA A LA FLAMA/ REFLEXION DE LA LUZ

TIPO	ESPESOR (cm)	MONTAJE	COEFICIENTES DE ABSORCION DEL SONIDO 125 cds	250 cps	500 cps	1000 cps	2000 cps	4000 cps	NRC prom	REF DE LA LUZ CLASE	RESIST A LA FLAMA SS-S-118 a U S A	EXTENSION DE FLAMA INDICE E 84	TAM DE UNIDAD PROBADA (cms)
Fisurado	1 9	A	03	27	83	99	82	71	70 80	A	25	15	30 5 × 30 5
		S	68	67	65	84	87	74					
Glaciar	2 2	A	04	20	73	99	88	89	65 75	B	25	15	30 5 × 30 5
		S	60	73	73	93	88	90	75 85				
Finesse	1 9	S	78	57	59	73	70	60	60- 70	A	25	15	30 5 × 30 5
Decorado	1 9	A	03	26	77	93	83	78	65 75	A	25	15	30 5 × 30 5
		S	80	69	66	86	90	87	75 85				

Abreviaturas CPS ciclos por segundo NRC prom Coeficiente de Reduccion de Ruido Promedio
Montaje A por adhesivo Montaje S suspension metalica

PROPIEDADES DE ATENUACION DEL SONIDO

TIPO	ESPESOR (cms)	MONTAJE	ATENUACION DEL SONIDO-DECIBELES (11 frecuencias) 125	175	250	350	500	700	1000	1400	2000	2800	4000	STC	TAM DE UNIDAD PROBADA (cms)
Fisurado	1 9	SO	23	27	25	23	26	26	28	32	36	43	50	25-29	30 5 × 61
		A	30	36	38	41	46	48	52	59	58	60	59	45-49	30 5 × 30 5
		SV	24	30	23	21	24	25	25	30	34	42	47	25-29	30 5 × 61
Glaciar	2 2	SV	28	36	30	32	39	42	44	45	46	50	50	40-44	61 × 122
Finesse	1 9	SV	26	29	29	28	31	33	35	41	47	57	58	30-34	30 5 × 30 5
Decorado	1 9	SO	22	29	25	22	26	26	28	31	35	43	49	25-29	30 5 × 30 5

Abreviaturas STC Clasificacion de Transmision de Sonido
Montaje A por Adhesivo Montaje SO Suspension Metalica Oculta Montaje SV Suspension Metalica Visible

Yeso Panamericano, S.A. de C.V.
Insurgentes Sur 540. México 7, D.F.
Tel. 564-84-11

Ver Sección de Distribuidores

limitaciones

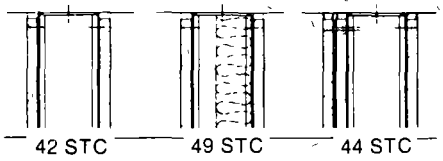
- No debe de usarse el panel de yeso SHEETROCK* cuando las condiciones de humedad son extremas o continuas
- El panel de yeso SHEETROCK* debe impermeabilizarse perfectamente cuando se usa como base para azulejos.
- Los muros divisorios de YESO PANAMERICANO, S.A. DE C.V , no son de carga.

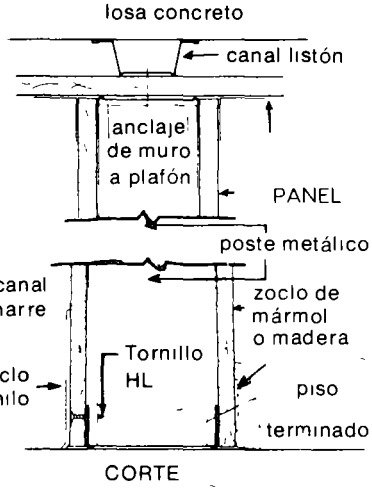
datos técnicos

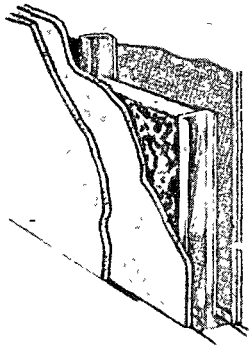
- Los sistemas para muros y plafones SHEETROCK se han probado sometiéndolos a esfuerzos transversales, de impacto, tensión y torsión en los laboratorios de investigación de la United States Gypsum Company
- Los muros de SHEETROCK no son de carga, sin embargo se ha seguido un criterio para evaluar la capacidad de cargas transversales tomando 25 kg/ m²
- El límite máximo de deflexión es la altura dividida entre 120, lo cual nos da los datos de la tabla siguiente, con panel de SHEETROCK de 13 mm de cada lado

SECCION DEL POSTE			
Separación	**4.1 cm**	**6.35 cm**	**9.2 cm**
de postes	ALTURA MAXIMA		
30 cm	3 30 m	4 50 m	5 90 m
40 cm	3 00 m	4 00 m	5 20 m
60 cm	2 45 m	3 60 m	4 20 m

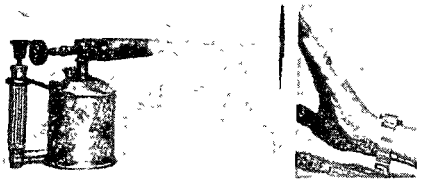
MURO DE PANELES SHEETROCK DE 16 mm CON POSTES DE 9.2 cm







perspectiva muro con aislamiento acústico



Barrera contra el fuego

Para mayor información, consulte a nuestro DEPARTAMENTO de Servicios Técnicos.

USOS

- En plantas para oficinas, locales comerciales, hoteles ó Casas habitación.
- Para protección de estructuras de acero contra el fuego, Panel de Yeso SHEETROCK FIRECODE*. Aceptado por la Asociación Mexicana de instituciones de Seguros

ventajas

- **Ligereza:** desde 23 Kg/ m², reduce los movimientos y costo de equipo de elevación y acarreo de materiales.
- **Economía:** ahorro directo en costo de estructura, cimentación y movimientos de materiales
- **Acústica:** hasta 55 STC, superior al tabique aplanado por ambas caras
- **Rápidez:** acelera el desarrollo general de la obra, facilitando las instalaciones mecánica, hidráulica, eléctrica de sonido, etc , y permite dar los acabados de inmediato, sin esperar a que los aplanados sequen
- **Incombustibilidad:** hasta dos horas de protección en muros con SHEETROCK FIRECODE *
- **Limpieza de obra:** no requiere preparar mezclas; evita la ranuración de muros para instalaciones.
- **Mantenimiento:** permite un acceso rápido a las fugas, cortos circuitos, etc., sin maltratar los acabados cercanos, sin mezclas, ni cincel y martillo, etc.
- **Versatilidad:** Se adapta a cualquier tipo de Edificio

Yeso Panamericano, S.A. de C.V.
Insurgentes Sur 540. México 7, D.F.
Tel. 564-84-11

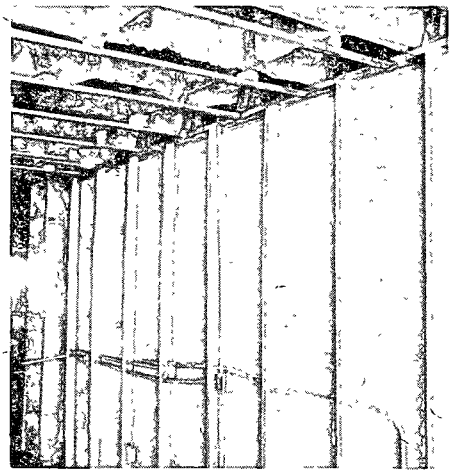
muros prefabricados

Yeso Panamericano, S.A. de C.V.

descripción

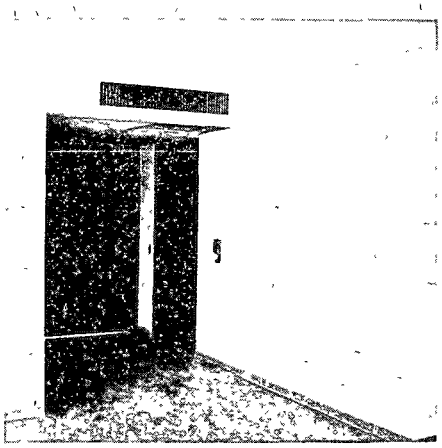
SHEETROCK *, paneles de yeso para muros divisorios y plafones
SHEETROCK* es un panel compuesto por un núcleo de yeso cubierto por resistente papel manila en su cara de acabado, y un papel fuerte, en su cara posterior. El papel manila se dobla cubriendo también las orillas, para refuerzo y protección del núcleo El corte en los extremos es recto y de acabado terso.
El sistema de Muros Divisorios de YESO PANAMERICANO, S.A DE C.V., consiste en una estructura metálica ligera (de lámina galvanizada), cubierta en ambos lados con panel de yeso SHEETROCK*, el cual se fija a la estructura con tornillos especiales autorroscantes, todo bajo las normas de calidad y construcción de la UNITED STATES GYPSUM CO
Este sistema ha sido desarrollado para cubrir una amplia gama de necesidades de la construcción moderna, por su LIGEREZA, FACILIDAD y RAPIDEZ de Instalación, su INCOMBUSTIBILIDAD, y sus propiedades ACUSTICAS.
Sus cualidades permiten una flexibilidad en el diseño sorprendente, permitiendo así la construcción de muros de diferentes espesores según las necesidades Acústicas y de Resistencia al fuego

especificaciones



Elementos Estructurales (Postes y Canales) de 4 1,6 35 y 9.2 cm. de ancho, por longitudes desde 2 40 m
Canal Listón YPSA para recubrimientos de Muros y Plafones
SHEETROCK *, Panel de yeso en espesores de 10, 13 y 16 mm, de 1 22 m de ancho por longitudes desde 2 40 m
SHEETROCK FIRECODE *, Panel de yeso A PRUEBA DE FUEGO
NUCLEO YESO *, Panel de yeso de 25 mm de espesor 60 cm de ancho
ROCKLATH *, panel de yeso BASE PARA APLANADOS DE YESO 60 cm de ancho

instalación



1. Fijar canales estructurales en piso y techo.
2 Colocar postes estructurales, a 61 cms. a centros como máximo, dentro de las canales
3 Fijar los paneles de yeso SHEETROCK* a los postes, con tornillos autorroscantes.
4 Reforzar Juntas y Desvanecerlas con el Sistema de Tratamiento de Juntas YPSA*
5 Emplastecer y Desvanecer las depresiones originadas por los tornillos con cemento REDI-MIX*
6. Su MURO DIVISORIO ESTA LISTO PARA RECIBIR EL ACABADO FINAL-Pintura, Tapices, Azulejo, Plástico, Texturas, etc
(Para información sobre PLAFONES, vea la sección correspondiente.)

Yeso Panamericano, S.A. de C.V.
Insurgentes Sur 540. México 7, D.F.
Tel. 564-84-11

Distribuidores autorizados YPSA*

Distrito Federal

Aislamientos Industriales de México, S. A.
Río Mixcoac No. 298 - México 12, D. F.
Tel. 534-64-63

Aislamientos Acústicos Méxicanos, S. A.
General M. Miramón No. 53 México 14, D. F.
Tel. 577-26-00 Ext. 12

Distribuidoras Fiberglass de México, S. A.
Jalapa No. 102 - México 7, D. F.
Tels. 533-66-63 y 528-78-13

Forros y Aislamientos, S. A.
Martín Carrera No. 253 - México 14, D. F.
Tel. 577-26-21

México-Europa, S. A.
San Lorenzo No. 106-602 - México 12, D. F.
Tel. 575-64-95

Instalaciones y Representaciones
Técnicas, S. A.
Castilla No. 54 - México 16, D. F.
Tel. 561-62-77/6477

Jalisco

Inretec de Guadalajara, S. A.
Gabino Barreda No. 1134 y 1136
Guadalajara, Jal. - Tel. 18-23-96

Materiales Técnicos, S. A.
Calzada González Gallo No. 2010
Guadalajara, Jal. - Tel. 13-89-13

Nuevo León

Materiales Técnicos, S. A.
Edison Norte 1161 - Monterrey, N. L.
Tel. 46-79-69 y 47-03-25

Veracruz

Sres. Samy y Jorge Hayek
Av. Juárez No. 305 - Coatzacoalcos, Ver.
Tel. 2-19-61 y 211-33

YESO PANAMERICANO, S. A. DE C. V.
Insurgentes Sur 540 México 7, D. F.
Tel. 564-8411

Productos aislantes YPSA*

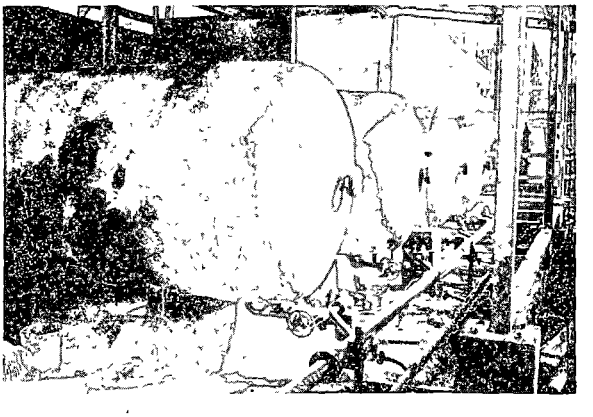
Lana Mineral YPSA*

A greña Lana mineral de color claro, suelta para utilizarse en la fabricación de placas o colchonetas aislantes, para trabajar hasta 650°C (120°F) sin perder sus cualidades térmicas.

Granulada Lana Mineral de color claro, presentada en forma de borra, con excelentes propiedades como materia prima básica en la fabricación de productos aislantes, termo-acústicos y recubrimientos para protección contra fuego. También se puede aplicar en forma suelta, como aislamiento térmico y/o acústico, entre las paredes de equipos industriales (cambiadores de calor, de refrigeración, etc), así como en la construcción de muros para su acondicionamiento termo-acústico.

Colchoneta Industrial YPSA*

Placa flexible de Lana Mineral, con mallas de metal de cada lado para aislamientos industriales, para trabajo hasta 650°C (1200°F) en una cara. Se presenta en dos densidades: tipo Industrial Normal y tipo ligero (norma ASTM C592-66T, clases II y I respectivamente) para adaptarse al uso según la especificación de diseño requerida.



Insulblock*

Aislamiento rígido de alta densidad para trabajar a altas temperaturas-hasta de 1035°C (1900°F) -en una cara Su excelente resistencia mecánica, su baja conductividad térmica y el resto de sus características cumplen con las normas ASTM-C612-67T.

Cemento Aislante YPSA*

Material de acabado para recubrimientos aislantes, fabricado a base de lana mineral YPSA*. Cubre perfectamente sus aislamientos, sellando, para evitar al máximo las pérdidas de calor. Tiene, además, magníficas propiedades mecánicas y su adherencia a superficies metálicas, a refractarios, a recubrimientos aislantes y otras superficies es muy buena.

Aisla-Fibra YPSA*

Aislamiento para la construccion de aplicacion por aspersión que proporciona

- Protección de estructuras contra incendio, en edificios y plantas industriales
- Protección termica, aislamiento y control de condensación en edificios
- Control acústico, por absorción, en edificios comerciales e industriales
- Control acústico, por atenuacion, a traves de muros y losas
- Aislamiento industrial para trabajos a altas temperaturas

Aisla-Fibra YPSA* es un aislamiento ligero (aprox 5 kg/m2 a 25 mm de espesor), de fácil y rápida aplicacion (por aspersion), contribuye a prevenir la corrosion (especificación ASTM-B117), proporciona un acabado duro y resistente a la abrasion, brinda SEGURIDAD al instalarse (no contiene asbesto u otros materiales que perjudiquen a las vias respiratorias) y a la instalación por ser totalmente INCOMBUSTIBLE

Acoustone*

Losetas acústicas incombustibles para plafones

YESO PANAMERICANO, S. A. DE C. V, ofrece sus productos ACOUSTONE* para control de sonido, fabricados con lana mineral logrando un producto ligero, incombustible, y con excelentes propiedades acústicas, bajo norma de calidad y especificaciones reconocidas internacionalmente

Puede colocarse como falso plafón ó pegarse con adhesivo a superficies lisas ya existentes

Se fabrica en color blanco con cantos terminados en bisel, a escuadra ó línea de sombra El canto a escuadra no se recomienda para lugares donde vaya a existir luz rasante

Al seleccionar su plafón es conveniente tratar de visualizar de antemano el diseño final, ya que la iluminación natural y artificial puede ser definitiva en la selección del tipo de loseta y de suspensión

Especificaciones:

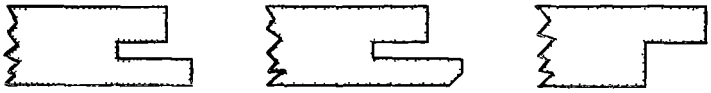
ACOUSTONE* Fisurado ó Finesse
19 mm x 30 5 cm. x 30.5 cm. (canto biselado ó a escuadra)
19 mm. x 30.5 cm. x 61.0 cm (canto biselado ó a escuadra)
19 mm x 61.0 cm. x 61.0 cm. (canto biselado ranurado ó a escuadra sin ranura)

ACOUSTONE* Glaciar
22 mm de espesor por las mismas dimensiones, excepto que sólo con cantos a escuadra.

ACOUSTONE* Línea de sombra
19 mm. de espesor (Fisurado ó Finesse)(60.3 cm. x 60.3 cm)
22 mm de espesor (Glaciar) 60.3 cm x 60.3 cm.

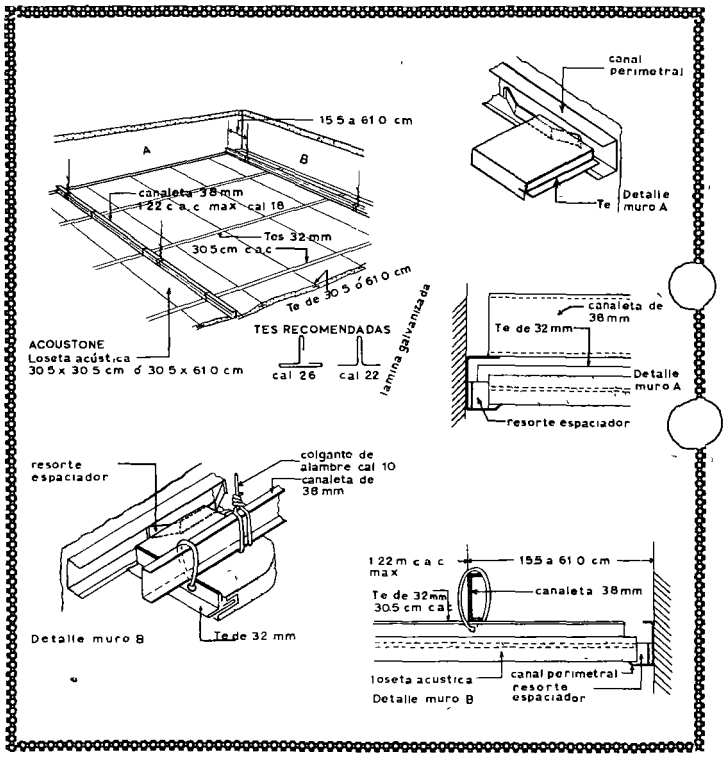
ACOUSTONE* Decorado
19 mm. x 30.5 cm. x 30.5 cm. (8 modelos o SU PROPIO DISEÑO.

Cantos

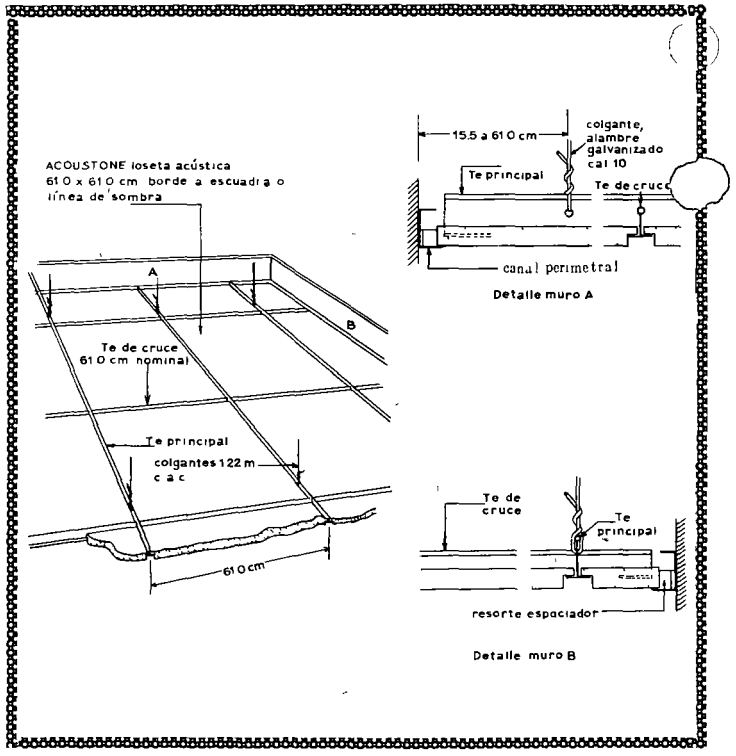


a escuadra — biselado — línea de sombra

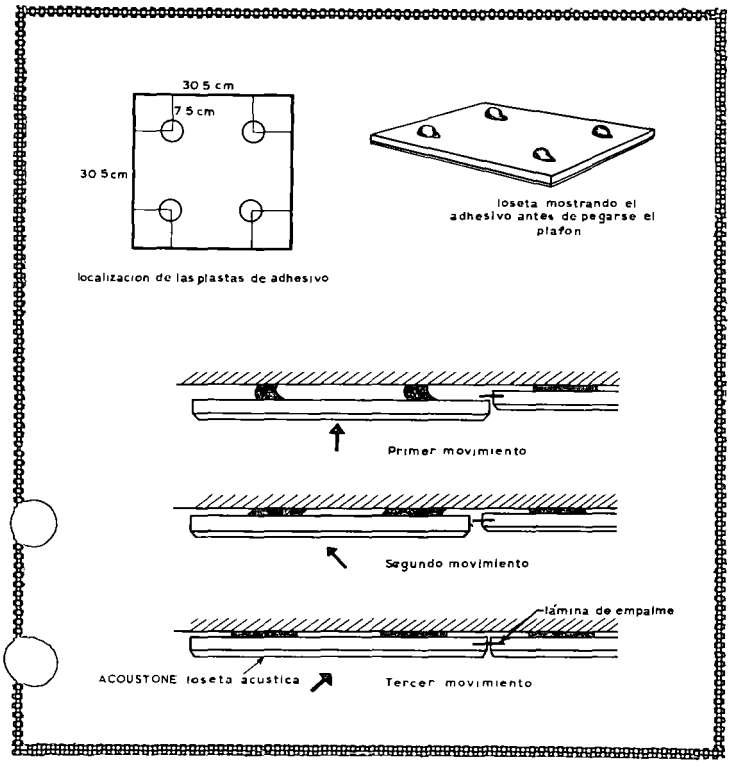
Instalación oculta



Instalación visible



Instalación por adhesivo (sólo para loseta de 30.5 cm. x 30.5 cm.)



Recomendaciones y limitaciones:

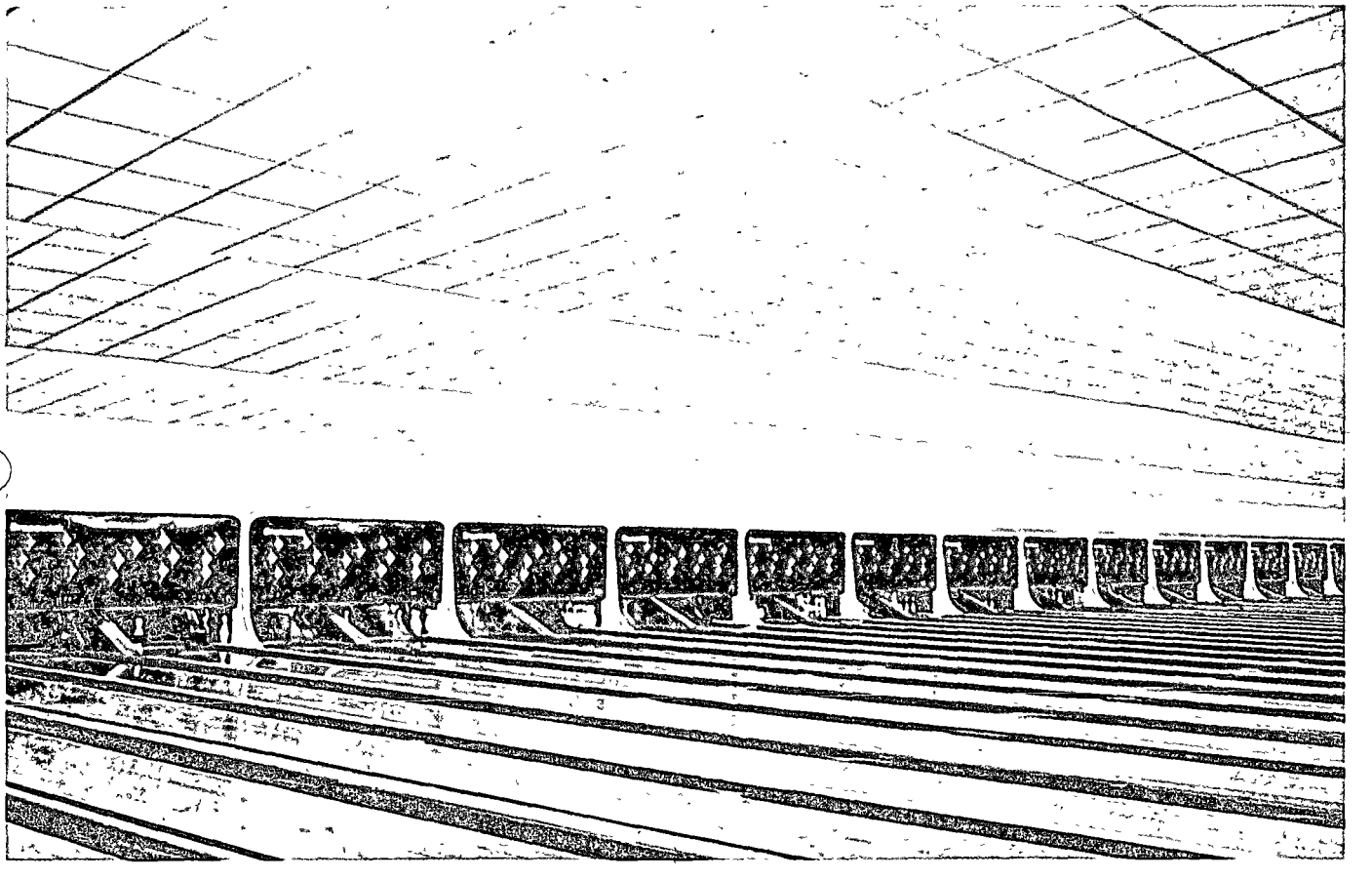
1 - Para mejores resultados, las condiciones de temperatura y humedad en la instalación deben ser lo más semejante posible,a las condiciones normales de uso del espacio arquitectónico, o sea después de haber probado y recibido las instalaciones de servicio.

2.- Bajo ningún concepto se recomienda su instalación o uso en lugares donde existen posibilidades de que ocurran condensaciones en la loseta.

3.- El espaciamiento de colgantes y canaletas no deberá excederse.El emparrillado está calculado para sostener la carga del plafón acústico UNICAMENTE Pasarelas de trabajo y soportes independientes para otras instalaciones deberán diseñarse e instalarse.

4.- Para garantizar un aislamiento acústico máximo deberán sellarse las juntas en gabinetes de alumbrado, salidas de sonido ó aire acondicionado etc.

5.- Para mayores informes consulte a nuestro departamento de servicio técnico.

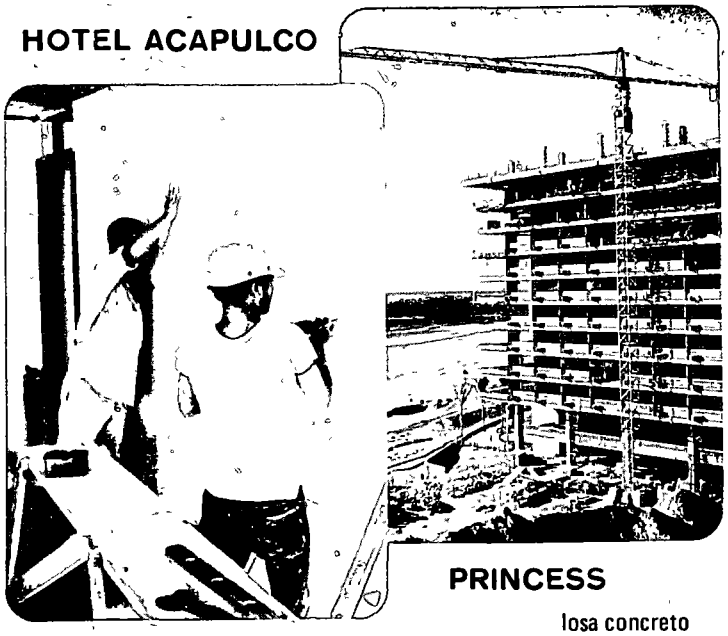


YESO PANAMERICANO, S. A. DE C. V.
INSURGENTES SUR 540 PISO 8 MEXICO 7, D. F. TEL. 564-8411

Otras dos ventajas de nuestros sistemas para muros y plafones con panel de yeso SHEETROCK*

EN EL HOTEL ACAPULCO PRINCESS SE INSTALARON APROXIMADAMENTE 60,000 m2. DE MUROS DIVISORIOS y 40,000 m2. DE PLAFONES CON PANEL DE YESO SHEETROCK* EN SOLO 10 MESES.

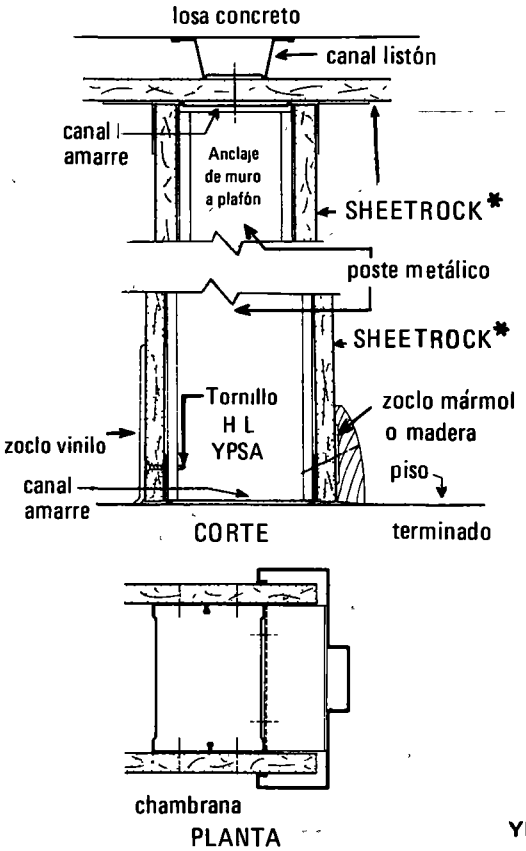
HOTEL ACAPULCO



PRINCESS

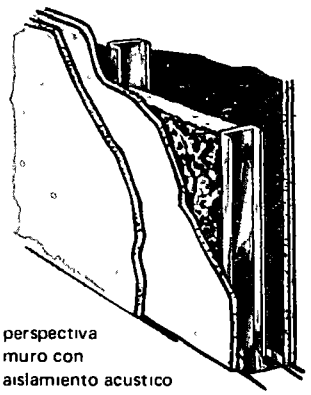
RAPIDEZ

- debido a que están compuestos con elementos prefabricados.
- se transportan y mueven en la octava parte de tiempo que los sistemas convencionales.
- se utilizan herramientas que desarrollan increíble velocidad en su aplicación.
- acelera y facilita las instalaciones mecánicas, eléctricas, hidráulicas, de sonido, intercomunicación y clima.
- no es necesario esperar el usual tiempo de secado de aplanados convencionales.
- acelera el acabado de los muros y plafones; azulejos, tapiz, plástico, textura, tirol, etc.
- especialmente adecuado para muros altos, hasta de 6.10 m.

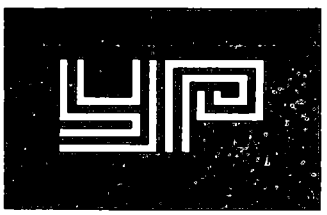


LIMPIEZA

- no intervienen mezclas, agua o polvos.
- mínimo desperdicio: se reduce a un 5 % que con sistemas convencionales.
- control máximo de materiales
- evita ranuras para instalaciones y su consiguiente resane.
- no necesita de tendidos que estorban y guardan suciedad.
- para efectuar reparación de fugas, cortos circuitos, etc., no se necesita mezcla, ni martillo y cincel; evitando maltratar ecabados cercanos.
- ideal para remodelaciones.



perspectiva muro con aislamiento acustico



YESO PANAMERICANO, S. A. DE C. V.
INSURGENTES SUR 540
MEXICO 7, D. F.
TEL.: 564-84-11

Todos éstos factores tienen por resultado increíble economía y excelente calidad.

*MARCA REG.

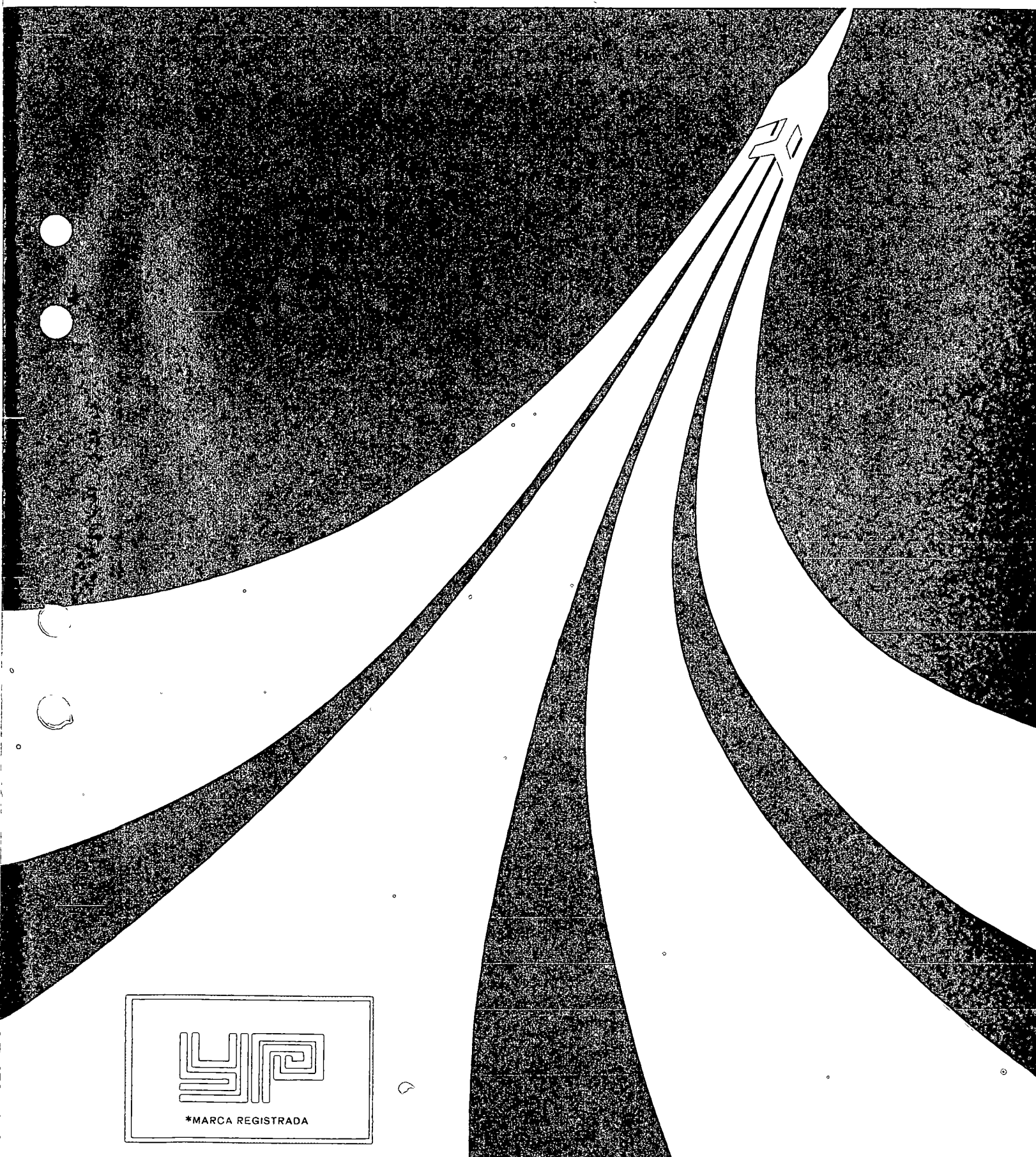
PY–03– Mar 76

símbolos de progreso

En plantas para oficinas, divisiones comerciales, hoteles, departamentos, o locales comerciales, lo moderno son los muros SHEETROCK* de yeso que además de permitir un acabado impecable, son térmicos, acústicos e incombustibles.

YESO PANAMERICANO, S. A. DE C. V.

INSURGENTES SUR 540 MEXICO 7, D F TEL 564-84-11



*MARCA REGISTRADA

DISTRIBUIDORES AUTORIZADOS

YPSA

AGUASCALIENTES:

MADERERIA LA NACIONAL, S. A.
Av. Obregón Nº 322.
Aguascalientes, Ags.

COAHUILA:

DE LA GARZA HERMANOS.
Pte. Lárazo Cárdenas 506 Pte.
Saltillo, Coah.

IMPERMEABILIZANTES Y RECUBRIMIENTOS, S. A.
Blvd. Revolución Nº 666. Poniente.
Torreón, Coah.
Tel.- 2-6859/0521/3273.

CHIAPAS:

SR. JOSE VELAZQUEZ ESPINDOLA.
20 de Noviembre Nº 43.
Tuxtla Gtz., Chis.
Tel.- 204-38.

CHIHUAHUA:

PROVEEDORA INDUSTRIAL Y DE CONSTRUCCIONES, S. A.
Independencia Nº 51.
Hidalgo del Parral, Chih.
Tel.- 2-10-30.

DURANGO:

TRACTORES DE DURANGO, S.A. DE C.V.
Av. 20 de Nov. Nº 2001 Oriente.
Durango, Dgo.
Tel.- 4749/50.

GUANAJUATO:

MADERERIA LA PAZ, S. A.
Calle de La Paz Nº 120.
León, Gto.
Tel.- 3-26-13/4005.

CANCELES MAPER.
Tres Guerras Nº 869.
Irapuato, Gto.
Tel.- 6-24-11.

JALISCO:

ALCE DISTRIBUIDORA, S. A.
Calle 14 Nº 2413.
Zona Industrial.
Guadalajara, Jal.

MORFIN RUIZ.
Vallarta Nº 3202.
Guadalajara, Jal.
Tel.- 30-03-97. y 30-05-10.

NAYARIT:

PROVEEDORA DE MATERIALES NAYARIT, S. A.DE C. V.
República de Chile Nº 2-C.
Tepic, Nay.
Tel.- 2-36-63.

NUEVO LEON:

MODUL, S. A.
2a. Av. Nº 117-A.
Col. Cumbres.
Monterrey, N. L.

MATERIALES AISLANTES.
González Ortega Ote. 283.
Apartado Postal Nº 943.
Monterrey, N. L.
Tels.- 42-11-49/7793.

TECHOS Y MATERIALES PLASTICOS, S.A.
Av. Ruiz Cortínez Nº 502 Poniente.
Monterrey, N. L.
Tel.- 51-18-75.

MADERERIA EL SALTO, S. A.
Av. Tecnológico 201 y Juventino R.
Monterrey, N. L.

PUEBLA:

EXCLUSIVAS, S. A.
Av. Juárez Nº 2318-M.
Edificio Diana.
Puebla, Pue.
Tel.- 2-55-23.

RANGO, S. A.
Av. Juárez Nº 2108.
Puebla, Pue.
Tel.- 2-61-13 y 1-18-22

SAN LUIS POTOSI:

KLAR DECOR DE SAN LUIS, S.A.
Av. V. Carranza Nº 1015.
San Luis Potosi, S.L.P.
Tels.- 2-43-30/0606.

SINALOA.

URRECHA HERMANOS, S. A. DE C.V.
Blvd. G. Leyva Solano y Progreso
Nº 390 Poniente.
Culiacán, Sin.
Tel.- 2-06-75.

TABASCO:

D' ARGENCE.
Av. 27 de Febrero Nº 714.
Villahermosa, Tab.
Tel.- 2-26-98.

VERACRUZ:

DECORALUM.
Alvarado Nº 476.
Veracrúz, Ver.
Tel.- 3-42-29.

RAFAEL BLANCO APARICIO.
Juárez Nº 26 Esq. Madero.
Jalapa, Ver.

SRES. SAMI Y HAYEK.
Av. Juárez Nº 305.
Coatzacoalcos, Ver.
Tels.- 2-1961/1133.

YUCATAN:

INSTALACIONES REFRIVENT, S. A.
Calle 61 Nº 4981.
Mérida, Yuc.
Tel.- 1-46-85.

JOSE E. SEIJO, S. A.
Calle 53 Nº 463.
Mérida, Yuc.
Tel.- 100-78/1-73-90.

DISTRITO FEDERAL:

ACABADOS, MUROS Y PLAFONES, S.A.
3ra. Cerrada de Luz Saviñón Nº 15.
México 12, D. F.
Tel.- 536-79-36.

ALUMINIO MEXICANO, S. A.
M. Alemán Nº 55.
México 17, D. F.
Tel.- 5-30-31-35.

COPLACA.
Laurel Nº 94.
Col. Agrícola Pantitlán.
México 9, D. F.
Tel.- 558-07-19.

DISTRIBUIDORA EJA, S.A.
Marina Nacional Nº 485.
México 17, D. F.
Tels. - 545-72-00/3549.

DISTRIBUIDORAS FIBERGLASS, S. A.
Jalapa Nº 102.
Tels.- 533-66-53 y 28-78-13.
México 7, D. F.

FIX, S. A.
Mercaderes Nº 2.
México 19, D. F.
Tel.- 534-59-96.

INSTALADORES DE MEXICO, S. A.
Durango Nº 324 Desp. 202.
México 7, D. F.
Tel.- 511-21-74.

MOLDURAS Y PLAFONES, S. A.
General León Nº 32.
México 18, D. F.
Tel.- 516-77-34/8795.

ORSECO, S. A.
Puebla Nº 34 Local Comercial
México 7, D. F.
Tel.- 511-83-40

PLACA, S. A. DE C. V.
Morena Nº 309-C.
México 11, D. F.
Tel.- 543-32-80 y 536-28-62.

PLAFONES Y MATERIALES DE ALUMINIO, S.A.
Av. Morelos Nº 48 Esq. Elena.
México 13, D. F.
Tel.- 539-31-83 y 532-91-26.

YESO, PINTURAS Y ACABADOS, S. A.
Magdalena Nº 502 Esq. Eugenia.
México 12, D. F.
Tel.- 523-88-03.

PLAFONES Y DECORACIONES, S. A.
Manuel M. Ponce Nº 337.
Col. Guadalupe Inn.
México 19, D. F.
Tel.- 548-21-65.

YESO PANAMERICANO, S. A. DE C. V.
INSURGENTES SUR 540 PISO 8 MEXICO 7, D F TEL 564-8411

PARA QUE USTED PUEDA CON EL PAQUETE... DE INSTALAR UN PLAFON O UN LAMBRIN COMPLETO DE 12 M² SOBRE BASTIDOR DE MADERA.

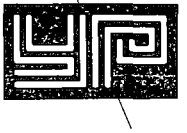
Ya tenemos a la venta el paquete SHEETROCK*...

2 atados (4 hojas) de panel de yeso SHEETROCK*	$ 250.07
1 cubeta (7.5 kg.) de Cubrejuntas REDI-MIX*	48.00
1 rollo refuerzo para juntas PERF-A-CINTA*	5.65
una bolsa (150 piezas) de clavo-tornillo	11.72
precio normal	315.44

precio especial, sólo: **$ 236.58**

Para sus canceles, plafones y lambrines adquiera los paneles de yeso SHEETROCK*

!! Son económicos, no se queman y, son muy ligeros !!



Exija la marca YPSA*

de YESO PANAMERICANO, S. A. de C. V.

Insurgentes Sur 540 México 7, D.F. Teléfono 564-84-11

*Marca Registrada

HAY RAZONES DE PESO...
Y DE PEO

para preferir
PANELES DE YESO SHEETROCK*

en la instalación de
CANCELES
LAMBRINES
PLAFONES

sobre bastidores de madera:

INSTRUCCIONES

para la instalación de canceles con paneles SHEETROCK* sobre bastidores de madera:

1.- Fije tiras de madera (4 x 7 5 cm. mínimo) al piso y al techo donde vaya a hacer su división.

2.- Coloque las tiras verticales de madera (4 x 7.5 cm mínimo) a 61 cm de separación, como máximo.

3.- Fije con clavo estriado o clavo tornillo, los paneles de yeso SHEETROCK* a las tiras verticales. (Usar panel de 13 mm.)

4.- Cubra y desvanezca las juntas con Cemento REDI-MIX* y la Cinta de Refuerzo PERF-A-CINTA*.

5.- Resane y desvanezca las depresiones originadas por los clavos, con Cemento REDI-MIX*, sin dejar residuos

6.- Lije la superficie, eliminando excesos o asperezas, donde sea necesario y sobre las juntas.

PY – 10-OCT-75

YESO PANAMERICANO, S. A. DE C. V.

Insurgentes Sur 540 México 7, D. F.
Tel. 564-8411

*marca registrada

PARA QUE USTED PUEDA CON EL PAQUETE...
instale CANCELES, LAMBRINES Y PLAFONES con paneles de yeso SHEETROCK*

-más baratos que el triplay o los aglomerados.
-se instalan sobre bastidores de madera.
-y no se queman.

INSTRUCCIONES para instalación de plafones y lambrines con paneles SHEETROCK* sobre bastidores de madera:

1.- Fije con clavos directamente a las vigas de madera o sobre bastidores de madera, el panel de yeso SHEETROCK*

2.- Cubra y desvanezca las juntas con Cemento REDI-MIX* y la Cinta de Refuerzo PERF-A-CINTA*.

3.- Resane y desvanezca las depresiones originadas por los clavos con Cemento REDI-MIX*

4.- Después del secado, lije la superficie de las juntas eliminando excesos o asperezas, según se requiera.

RECOMENDACIONES

Antes de aplicar el Cemento REDI-MIX* y la Cinta de Refuerzo PERF-A-CINTA* rectifique su trabajo y corrija cualquier defecto para lograr un mejor acabado.

a).- Asegure el máximo agarre con los clavos martillándolos mientras presiona el panel contra el bastidor. Los clavos flojos deberán quitarse o volverse a clavar a la estructura correctamente.

b).- Resane cualquier hendidura sobre la cara del panel con Cemento REDI-MIX*; en caso de que ésta sea profunda hágalo aplicando varias manos sucesivamente dejando secar cada una antes de aplicar la siguiente ya que en plastas grandes el Cemento se rechupa y se cuartea. Utilice un pedazo de PERF-A-CINTA* si es necesario.

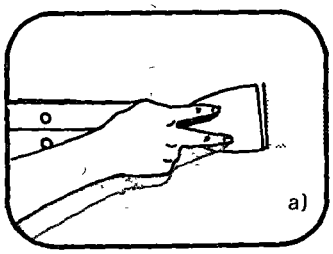
c).- Siempre mantenga limpias, ordenadas y al alcance sus herramientas, eso le ayudará a conservarlas y le permitirá trabajar con mayor rapidez.

YESO PANAMERICANO, S. A. DE C. V.
Insurgentes Sur 540 México 7, D. F.
Tel. 564-8411

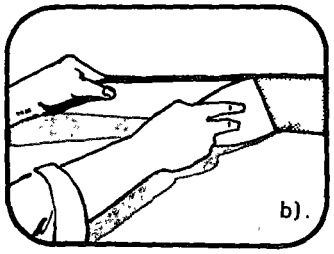
*marca reg.

Tratamiento de Juntas y Procedimientos

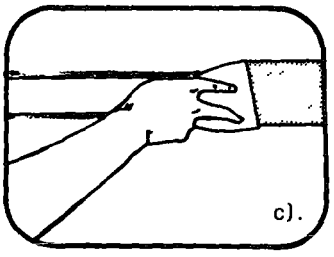
1er. PASO



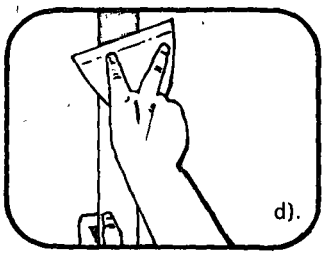
a) Aplique Cemento REDI-MIX* en el rebajo formado por los bordes rebajados de los dos paneles dejando una capa uniforme que quede al nivel de la superficie, sin dejar huecos. Inmediatamente después coloque la cinta de refuerzo PERF-A-CINTA*



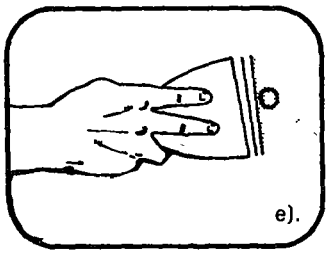
b). Centre la cinta sobre la junta presionando firmemente permitiendo que el cemento se adhiera por ambas orillas de ésta. Pase una espátula bastante ancha sobre la cinta para quitar los excedentes de cemento, dejando suficiente bajo la cinta para permitir buena adherencia y evitar que se abombe al secar.



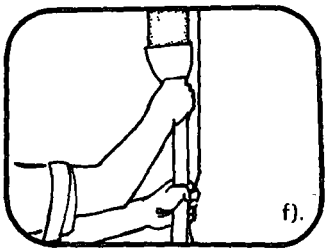
c) Cubra la cinta con una capa delgada de cemento. Permita que se seque. En lugares, fríos y húmedos debe dejarse secar varios días; en lugares de temperatura con humedad templada constante y ambiente no muy alta 1 o 2 días es suficiente.



d). Los bordes extremos (no cubiertos con papel) son terminados de una manera similar a los bordes rebajados, sin dejar huecos! Aplique el cemento y centre la cinta directamente a la junta. PRECAUCION No encime las tiras de cinta en los cruces



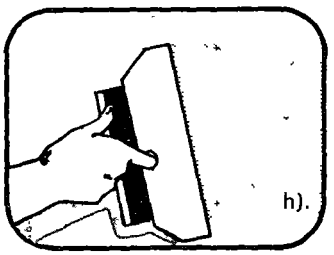
e). Antes de resanar sobre los clavos pase la espátula sobre ellos y si escucha y siente que la espatula raspa el clavo súmalo con el martillo. Después cubra los clavos con Cemento REDI-MIX* al ras del panel, sin dejar residuos sobrantes.



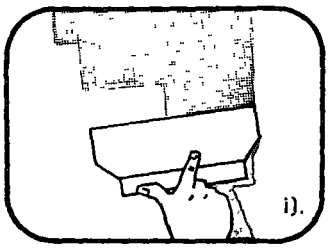
f). Para esquinas interiores doble la cinta a la mitad, aplique cemento a ambos lados de la esquina y coloque la cinta. Siga los pasos b y c

g). En las esquinas exteriores cubra cada lado del esquinero con cemento. Empaste totalmente ambas caras del esquinero desvaneciendo el cemento hasta la superficie del panel

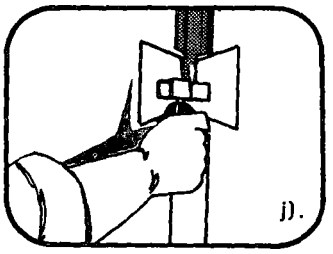
2ndo. PASO



h). Después que la primera capa haya secado quite las asperezas con lija y ponga una nueva capa delgada extendiendo el cemento 5 cm más de cada lado de la primera aplicación Permita que se seque.

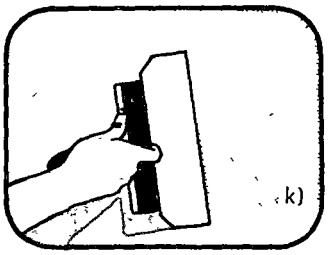


i). Para acabados de juntas de borde cuadrado (es lo mismo). Sólo que extendemos el REDI-MIX* a un ancho total de 40 cm.

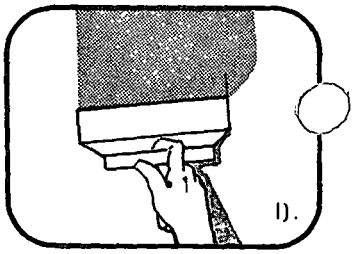


j). Aplique la segunda capa de cemento a las esquinas internas cubriendo un lado a la vez incluyendo clavos y esquineros.

3er. PASO
(si es necesario)



k) Lije ligeramente y aplique una tercera capa extendiéndola más de 5 cm. sobre la segunda capa Despues que se haya secado pase de nuevo la lija, antes de dar el Acabado (tapiz, pintura o texturizado, textone* tirol, etc)



l) Para completar el tratamiento de juntas con borde cuadrado, debido a que no existe el rebajo; será necesario extender la última capa a 50 cm. de ancho Para finalizar aplique la tercera capa de cemento a las esquinas interiores, sobre los clavos y el esquinero metálico.

RECOMENDACIONES:

1. Evite que el cemento REDI-MIX* se contamine con residuos en otros recipientes o con cemento seco y viejo.
2. Mantenga el cemento REDI-MIX* en lugares templados o frescos. Evite su congelación.
3. Si hubiera separación del líquido y pasta mezcle hasta tener una pasta uniforme. Esto no afecta las características del producto.
4. La temperatura ideal de trabajo es de 15°C ó más antes, durante y después de la aplicación del cemento hasta que el mismo haya secado totalmente para su decorado Procure evitar variaciones de temperatura.
5. Permita que el cemento seque totalmente antes de aplicarle una nueva capa a las juntas.

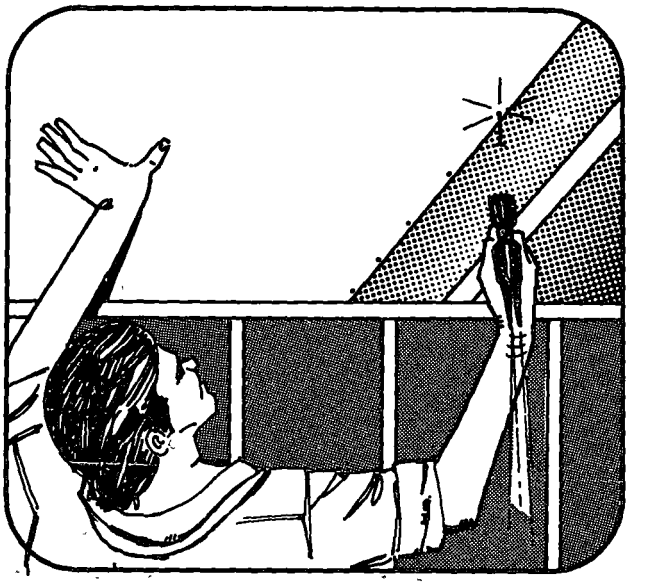
DISTRIBUIDOR AUTORIZADO

INSTALACION DEL SISTEMA SHEETROCK*

Sobre bastidores
de MADERA
en Lambrines, Plafones,
Canceles.

Sistema ingeniado para
construir con calidad
y economía.

Los paneles de yeso
SHEETROCK* son fáciles
de instalar y no se queman
protegiendo así
el bastidor de madera.



YESO PANAMERICANO, S. A. DE C. V.
Insurgentes Sur 540 México 7, D. F.
Tel. 564-8411

*marca reg.

PY-09

Materiales para Construcción
de Navojoa, S. A.
Pesqueira y Manuel Doblado
Navojoa, Son
Tels 2-06-77 y 2-10-78.

TABASCO

Decorex
Avenida 27 de Febrero 714
Villahermosa, Tabasco
Tel 2-26-98

Plafones Modernos
Hnos Baltazar Z No. 911
Villahermosa, Tab.
Tel 2-0877

TAMAULIPAS

Puertas y Lambrines, S. A.
Castilla No. 301 Norte
Tampico, Tamps.
Tels. 2-2021/4728

VERACRUZ

Arquitecnia, S. A.
Carret. Transistmica KM. 1
Minatitlán, Ver.
Tels 4-0807/0948

Arq. Alfredo Basañez
Calle 22 y Altamirano
Poza Rica, Ver.
Tel. 2-06-37

Cristal y Aluminio, S. A.
Avenida Juárez 88
Jalapa, Veracruz
Tels. 7-63-20 y 7-79-45

Decoralum, S. A.
Alvarado No. 476
Veracruz
Tel. 3-42-29

El Centro Mercantil, S A.
Av Avila Camacho y Perú
Jalapa, Ver.
Tels. 7-5015/5792

H. Lugo y Asociados, S C.
Col. Obrera
4 Norte y 10 Oriente
Edificio CEMI No. 204 y 206
Poza Rica, Ver.
Tels. 2-0739/1771

Sr. Rafael Blanco Aparicio
Juárez No. 26 Esq. Madero.
Jalapa, Ver.
Tels.7-45-39 y 7-22-59

Sres. Sami y Jorge Hayek
Av. Juárez No 305
Coatzacoalcos, Ver.
Tels. 2-22-59 y 2-22-06.

Distribuidora Barquín de
Veracruz, S. A.
Hidalgo 591
Veracruz, Veracruz
Tels. 2-25-90 y 2-38-14

YUCATAN

Instalaciones Refrivent
Calle 61 No. 4981
Mérida, Yuc.
Tel. 1-46-86

Vidrio y Aluminio Millet, S. A.
Calle 54 No. 469
Mérida, Yuc
Tel. 15-42

Instalaciones Vitro-Lux,
S. de R L.
Calle 62 No. 443
Mérida, Yuc
Tel. 1-5922

J E Seijo, S A
Calle 53 No. 463
Mérida, Yuc.
Tels. 1-00-78 y 1-73-90

DISTRITO FEDERAL

Acabados Acústicos, S. A.
Av Juárez No. 64-507
México 1, D F
Tel 513-16-17

Acabados de la
Construcción, S A.
Palenque No. 369
México 12, D F.
Tels.543-1793 y 536-7936

Acabados Especializados
de México, S. A.
Benjamín Franklin 235-102
México, D. F.
Tels. 577-58-13 y 516-60-02

Acabados, Muros y
Plafones, S. A.
Tercera Cerrada de
Luz Saviñón No 15
México, 12, D. F.
Tels. 543-17-93; 513-38-60
y 636-79-36

Adamm Industrial
Tuxpan No. 2-501
México 7, D F.
Tels 564-4722/4299

Aislamientos Acústicos
Mexicanos, S. A.
Gral M. Miramón No. 53
México 14, D F
Tel. 781-18-55.

Aislamientos de Fibra de
Vidrio, S A
Regina No. 70.
México 1, D F.
Tels.513-10-31 y 513-10-16.

Aluminio Mexicano, S A.
M. Alemán No 55
México 17, D F
Tel. 5-30-31-35

Arquitectura y Acabados, S. A.
Lucas Giordano No. 1-A
México 19, D. F.
Tels.563-06-04 y 563-07-34.

Besco de México, S. A.
Berlín 9 - 4o. Piso.
México 6, D F
Tels.546-04-08 y 535-39-94.

Casa del Plafonero, S. A.
Nicolas San Juan No. 828
México, 12, D. F
Tels. 543-67-15 y 536-29-02

Coplaca
Laurel No. 94
Col. Agrícola Pantitlán
México 9, D. F.
Tel. 558-07-19

Conark, S. A.
Homero No 430-4o. Piso.
México 5, D. F.
Tel. 250-22-99.

Distribuidora Eja, S. A.
Marina Nacional No. 485
México 17, D.F.
Tels. 545-72-00/3549

Distribuidora
Fiberglass de México, S. A.
Jalapa No. 102
México 7, D F.
Tels. 533-66-53 y 528-78-13

Instaladores de México, S. A.
Durango No. 324 Desp. 202
México 7, D. F.
Tel. 511-21-74

Interiores Modernos
Panamericanos, S A.
Av. Juárez No. 42
Edif. D.
Desp. No. 803-A
México 1, D. F.
Tels. 510-21-38 y 250-09-21

Jorge Ramos Soto
Sonora 143
México 7, D. F.
Tel. 515-75-70

Mantenimiento Programado, S. A
Medellín No 43 - 301 y 302.
México 11, D. F.
Tel 528-57-76.

Materiales V G L., S. A
Calz. Tlatilco No. 138
México 16, D. F.
Tel 547-45-09

Molduras y Plafones
Magdalena 502 Esq. Eugenia
México 12, D. F.
Tel 523-88-03

Orseco, S. A.
Puebla No 34
Local Comercial
México 7, D. F.
Tel 511-83-40 y 514-84-94

Placa, S. A de C V.
Morena No 309-C
México 12, D. F.
Tels.543-32-80 y 536-28-62

Pintura Yeso y Acabados, S. A.
Av de los Leónes No 173
México 20, D. F.
Tel. 593-06-70

Plafones y Decoraciones, S. A.
de C. V.
Manuel M. Ponce No. 337.
Col. Gpe. Inn.
México 20, D. F.
Tels.550-13-67 y 548-21-65.

Plafones y Materiales
de Aluminio, S. A.
Av. Morelos No. 48 Esq. Elena
México 13, D. F.
Tels. 539-31-83 y 532-91-26

Servikon, S. A.
Insurgentes Sur No. 286-201.
México 7, D. F.
Tels. 511-47-13 y 574-55-28

Tabla-Yeso, S. A.
Nuevo León 270 - 205
México 11, D. F.
Tels. 564-69-90 y 564-52-16

Yeso, Pinturas
y Acabados, S. A.
Magdalena 502 Esq. Eugenia
México 12, D. F.
Tel. 523-88-03

DISTRIBUIDORES-INSTALADORES AUTORIZADOS YPSA

AGUASCALIENTES
Maderería la Nacional, S. A.
Av Obregón No. 322
Aguascalientes, Ags.
Tel. 513-23.

CAMPECHE
Vidrio y Aluminio
Arquitectónico, S. A.
Calle 51 No. 29.
Campeche, Cam.
Tel. 6-26-40.

COAHUILA
Vila Garza Hermanos
Pte. Lázaro Cárdenas 506 Pte.
Saltillo, Coah. Tel 370-69 y 365-70.

Impermeabilizantes y
Recubrimientos, S. A.
Av Revolución No. 666
Poniente.
Torreón, Coah.
Tel. 2-6859/0521/3273

Maderería Terrazas, S. A.
Abasolo No 171 Sur
Sabinas, Coah.
Tel 2-02-70

CHIAPAS
Sr José Velázquez Espíndola
20 de Noviembre No 43
Tuxtla, Gtz. Chis.
Tel. 2-01-03

CHIHUAHUA
Distribuidora de
Productos de la Industria
y Construcción, S. A
Av Pacheco No. 1205
Chihuahua, Chih.
Tels 5-0515/71 y 2-7777

Centro Mercantil y
Agrícola, S. A.
Obregón No. 204
Nuevas Casas Grandes, Chih.

Proveedora Industrial y de
Construcciones, S. A.
Av Revolución No. 2104.
Chihuahua, Chih.
Tels. 282-82 y 243-03.

Allende No. 1100
Cd Cuauhtémoc, Chih.
Tel. 2-06-10.

DURANGO
Tractores de Durango,
S A de C. V.
Av 20 de Noviembre
No 2001 Oriente
Durango, Dgo.
Tels. 2-4749/50

GUANAJUATO
Canceles Maper.
Tres Guerras No. 869.
Irapuato, Gto.
Tel 6-24-11.

Madereria La Paz, S A
Calle de La Paz No 120
León, Gto
Tels 3-2613/4005

Aluminio Padilla, S A
Blvd Adolfo López Mateos
No. 23 - Ote. 2o. Piso.
León, Guanajuato
Tels. 4-12-92 y 4-13-11

GUERRERO
Antonio Trani Zapata-Ferreteria.
5 De Mayo No. 4.
Acapulco, Gro.
Tels 2-30-55 2-47-49 y 50.

JALISCO
Alce Distribuidora, S. A.
Calle 14 No. 2413
Zona Industrial
Guadalajara, Jal.
Tels 12-01-35 y 12-14-47

Asbestos y Plásticos, S. A.
Garibaldi No. 1151
Guadalajara, Jal.
Tel. 25-39-87

Contratistas Fester, S. A.
Av Niños Héroes No. 2616.
Guadalajara, Jal
Tels. 21-80-44 y 21-64-06.

Morfín Ruiz, S. A.
Vallarta No. 3202.
Guadalajara, Jal
Tels 30-03-97 y 30-05-10.

Muros, Acabados y Plafones
Gobernador Curiel No. 2847.
Zona Industrial
Guadalajara, Jal
Tel. 1327-32

EDO. DE MEXICO
Aluminio Camilo Orozco, S. A.
Pino Suárez Sur No 104.
Toluca, Edo. de México.
Tels. 524-05 y 504-67.

Aluminios Dimensionales, S. A.
Morelos No 201 Ote.
Toluca, Edo de México.
Tel. 556-97.

Maquiladora e
Industrializadora de
Madera, S. A.
Quintana Roo Sur No. 806
Toluca, Edo. de México
Tels. 53738/3803

MORELOS
Instalaciones y Servicios,
F.M., S. A
Blvd. Benito Juárez No 500.
Cuernavaca, Mor.
Tel. 2-08-56.

NAYARIT
Proveedora de
Materiales Nayarit, S A de C. V
República de Chile No. 2-C
Tepic, Nay.
Tel. 2-3663

NUEVO LEON
Maderera Nacional, S. A
Av. Nogalar No 315.
Monterrey, N L
Tel 52-58-28.

Maderera Nacional, S. A.
M.M. de Juárez No. 1211 Ote.
Cd. Guadalupe, N. L.
Tel 54-99-98

Maderera Nacional, S. A
Av Universidad y Héroes
Monterrey, N L
Tel. 75-44-44

Maderera Nacional, S. A.
5 de Febrero y Durango
Nvo Repueblo, N. L.
Tel 58-09-18

Modul, S A
2a. Av No 117-A
Col Cumbres
Monterrey, N L
Tel. 4626-59

Materiales Aislantes,
González Ortega Ote No. 283
Apartado Postal No. 943
Monterrey, N. L.
Tels 42-11-49/7793

Techos y Materiales
Plásticos, S. A.
Av Ruiz Cortínez
No 502 Poniente.
Monterrey, N L.
Tel 51-18-75

OAXACA
Ing Jorge C. Ham Guzmán
Mier y Terán No. 706
Oaxaca, Oax.
Tel 6-3476

Ing Lázaro Gómez Zavala
Azueta Esq Emiliano
Salina Cruz, Oax.
Tel 5-65

PUEBLA
Alucrisa
Av. 25 Poniente No. 2307.
Puebla, Pue.
Tels. 43-89-42 y 43-89-12.

Arqui Aluminio de Puebla, S. A.
Av Hnos. Serdán No. 5
Puebla, Pue.
Tels 2-55-27/9475

Exclusivas de Puebla, S. A.
Av. Juárez No. 2318-M
Edificio Diana
Puebla, Pue
Tel 2-55-23

Rango, S A.
Av Juárez, No 2108
Puebla, Pue
Tel. 2-61-14

SAN LUIS POTOSI
Klar Decor de San Luis, S. A.
Av V Carranza 1015
San Luis Potosí, S L P.
Tels. 2-43-30/0606

SINALOA
Impulsora Industrial de
Materiales, S. A.
Ramón Corral No. 675.
Culiacán, Sin.
Tels 240-47 y 268-18.

Urrecha Hermanos, S A de C V.
Blvd G Leyva Solano
y Progreso No. 390
Poniente
Culiacán, Sin.
Tel 2-06-75

Maderería El Roble, S. A.
Zaragoza No. 565 Sur
Los Mochis, Sin.
Tel 2-00-56

SONORA
Proveedora de Caborca,
S A de C. V
Av H No 42 Norte
Caborca, Son.

Guillermo Valencia Dávila
Av Obregón y Calle Primera.
Cananea, Son.
Tel. 2-14-09.

Construcciones,
Impermeabilizaciones, y
Aislamientos, S. A.
Calle 3 No 32
Guaymas, Son.
Tel. 2-03-03

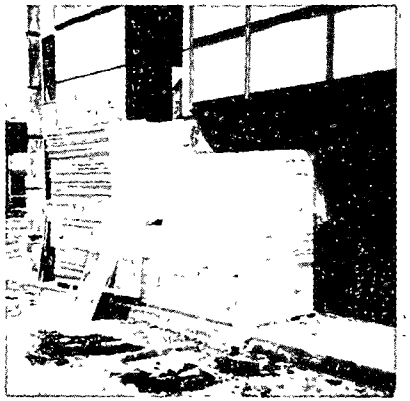
Cortinas y Aluminio, S. A.
Calle 13 No. 69
Guaymas, Son
Tel. 2-09-77

Materiales Arquitectónicos
de Sonora, S. A
Apartado Postal No 72
Michael No 33
Hermosillo, Son.
Tel. 3-21-50

Fer-Ver Maderas, S. A.
Veracruz No 82
Hermosillo, Son.
Tels 4-09-88/4401

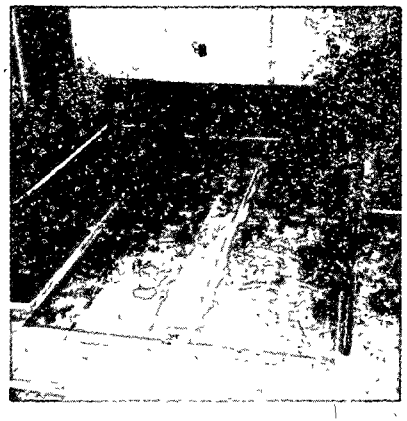
Super Servicio Ramos,
S de R. L.
Obregón Norte S/N
Magdalena, Son

Procedimiento Constructivo Fotografías tomadas en el conjunto habitacional INFONAVIT-IXTACALCO, D. F. y otras obras.



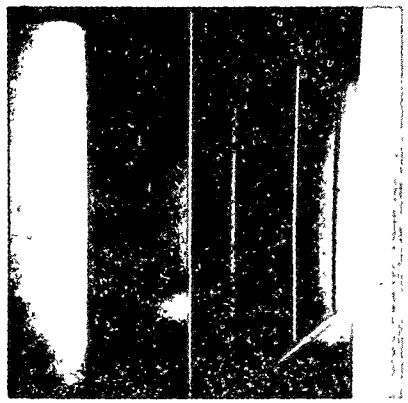
1- Estibado de Paneles SHEETROCK* en obra (deberan protegerse adecuadamente con polietileno)

2 Fijacion de corredera de lamina galvanizada a piso y techo

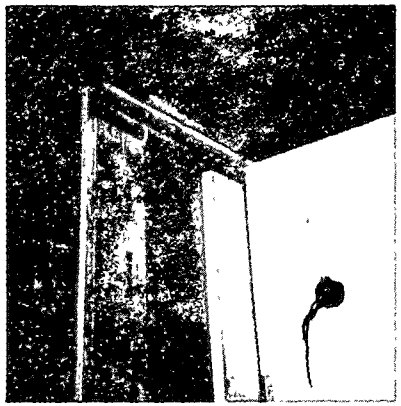


3- Forma de pegar la Costilla de NUCLEO-YESO YPSA* al centro de la cara posterior del panel

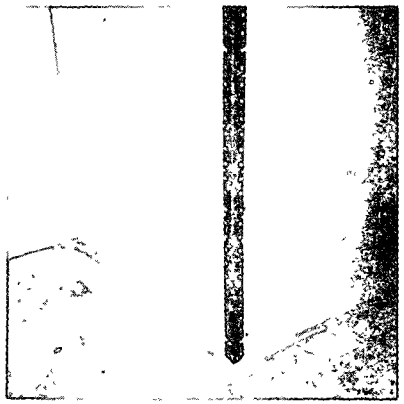
4- Atornillar el Panel SHEETROCK* con la Costilla NUCLEO-YESO YPSA*, a la corredera de lamina galvanizada con tornillo YPSA* de 25 mm (a cada 60 cm fijar caja de instalacion electrica con tornillo YPSA* HL 25 mm)



5- Vista de medio muro atornillado a la corredera



6- Vista de Mocheta de Closet mostrando segmento de corredera fija al muro de concreto (o columna) en la parte media de 30 cms y a 1 m de alto.



7 Aplicacion de la cinta de refuerzo PERF A CINTA* en rincones (o en la junta entre paneles) y de Esquinero Metalico YPSA* en esquinas exteriores

8 Aplicacion de Cemento REDI MIX* sobre Esquinero Metalico YPSA* y sobre la cinta de refuerzo PERF A CINTA*

9 Cubriendo el Esquinero Metalico YPSA* notese la junta entre paneles tratada a la derecha

ESPECIFICACION PARA MUROS DIVISORIOS CON PANEL DE YESO SHEETROCK* PARA VIVIENDA

TIPO SEMI-SOLIDO

Muro Divisorio con un Panel de Yeso SHEETROCK* de 13 mm de cada lado, estructurado con Costillas de NUCLEO-YESO YPSA* de 25 mm x 15 cm de ancho, a cada 61 cms, sobre corredera de lamina galvanizada

1 Componentes
1 1 Corredera de lamina galvanizada Calibre 26 (mínimo), de 13+25+25+25+13 mm de desarrollo o corredera de lámina galvanizada Calibre 24 (mínimo) en forma de "U" de 25+25+25 mm
1 2 Panel de Yeso SHEETROCK* de 13 mm de 1 22x2 40 m
1 3 Costilla de NUCLEO-YESO YPSA* de 25mm x 15 cm de ancho, largo igual a altura de muro menos 30 cms (máximo)
1 4 Tornillos YPSA* HL de 25 mm
Tornillos YPSA* HL de 41 mm
1 5 Pegamento adecuado
1 6 Cinta para reforzar juntas - PERF-A-CINTA*
1 7 Cemento REDI-MIX*
1 8 Esquinero Metalico YPSA*

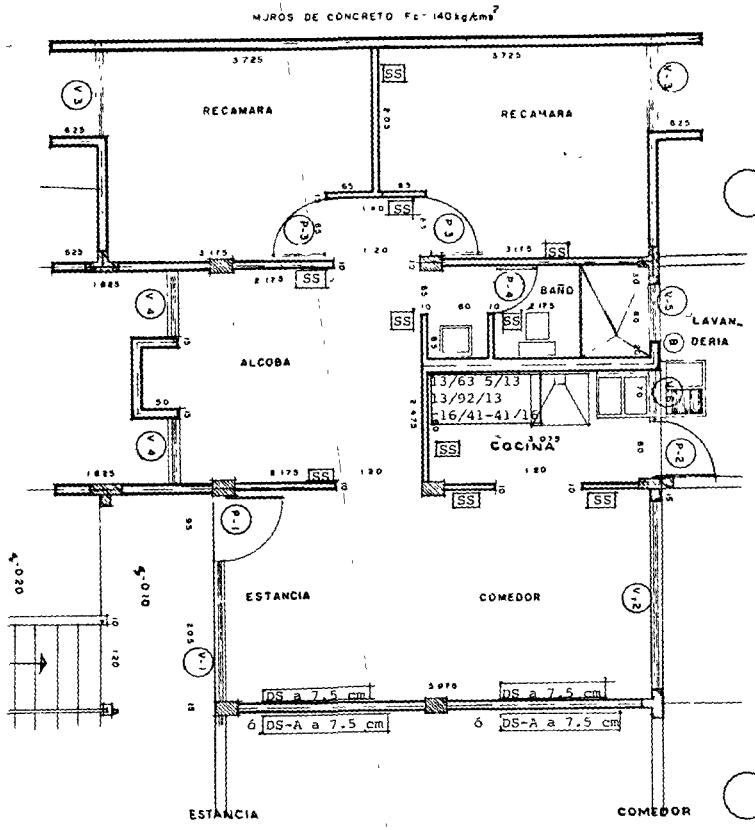
2 Construcción
2 1 Se fijarán las Correderas Metálicas a piso y techo convenientemente, a cada 60 cms
2 2 Se pegan las Costillas de NUCLEO-YESO YPSA* centradas sobre la cara posterior de los paneles SHEETROCK*
2 3 Se atornillan los paneles SHEETROCK* con Tornillos YPSA* HL de 25 mm a la corredera metalica a cada 61 cms de un lado
Se aplica pegamento a las Costillas y se atornillan los Paneles del otro lado del muro de la misma manera, colocando Tornillos YPSA* HL de 41 mm en puntos intermedios para sostener los paneles mientras fragua el pegamento
2 4 Se colocan los Esquineros Metálicos YPSA* en todas las esquinas exteriores de muros y en terminales de muros donde no se especifiquen chambranas
2 5 Se aplica la cinta PERF-A CINTA* y se emplastecen las depresiones de tornillos con Cemento REDI-MIX*, así como sobre los esquineros

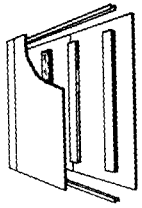
3 Varios
3 1 Chambranas de madera —Dejar tira de madera en terminal de muro de 25x25 mm para chambrana sencilla y de 25x50 mm para chambrana doble
3 2 Para chambrana metalica se aplicará según perfil y detalles constructivos adjuntos
3 4 La construcción de los muros con Panel de Yeso SHEETROCK* sera efectuada por DISTRIBUIDORES-INSTALADORES Autorizados por YPSA con objeto de controlar la calidad de los mismos y proporcionar el servicio en toda la Republica

Nota En algunos casos de lugares alejados del centro del país, podría, resultar más economico, por el flete utilizar Canal de Amarre y Poste Metálico YPSA* de 41 mm, en sustitucion de la Costilla de NUCLEO YESO YPSA* por resultar asi un muro mas ligero

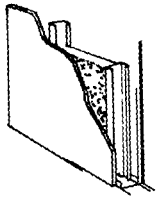
Localización de muros según tipo

EJEMPLO

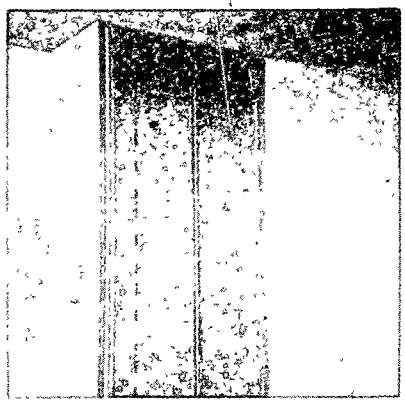




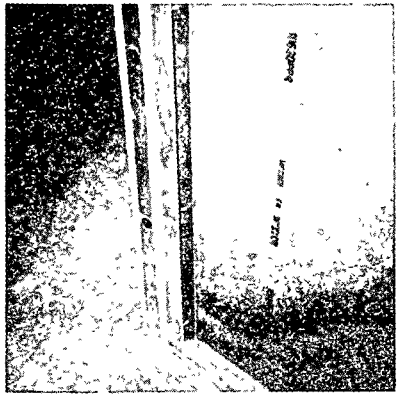
MURO DIVISORIO ESTRUCTURADO CON COSTILLA DE NUCLEO-YESO YPSA® SS 13/16



MURO DIVISORIO ESTRUCTURADO CON CANAL Y POSTE METALICO YPSA® 13/63,5 /13 ó 13/92/13



10 Muro estructurado con Canal y Poste Metalico YPSA® de lamina galvanizada

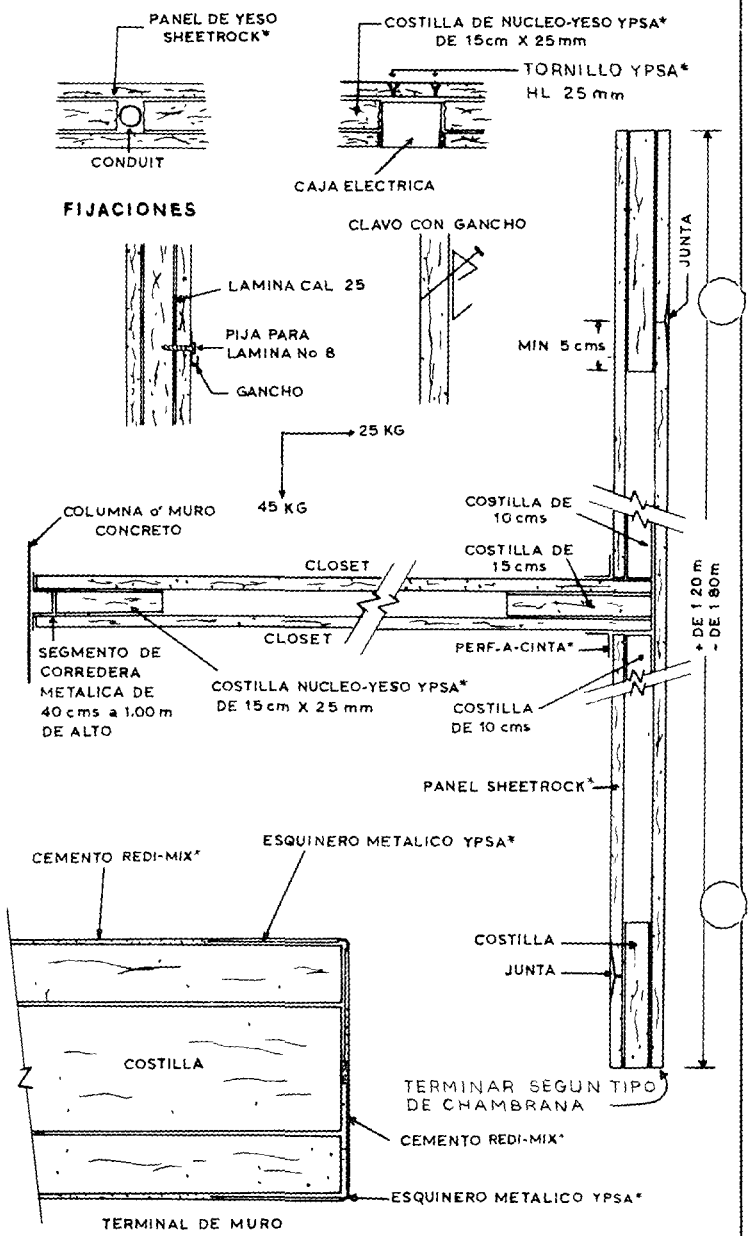


11- Detalle de esquina mostrando ensamble de lo Postes Metalicos YPSA®

12 - Ejemplo de cocineta terminada

DETALLES CONSTRUCTIVOS

Muros divisorios estructurados con Costilla de NUCLEO-YESO YPSA*



1 3 DESCRIPCION DE LOS DIFERENTES TIPOS DE MUROS

Tipo SS-13 ó SS-16 Semi-Sólido, formado con dos Paneles de Yeso SHEETROCK* de 13 ó 16 mm con Costillas de NUCLEO-YESO YPSA* de 15 cm x 25 mm a cada 61 cms a c , sobre corredera metálica perfil en lámina galvanizada No 26 mínimo de 13+25+25+25+13

Tipo 13/63 5/13 Con Canal y Poste Metálico YPSA* de 63 5 mm a cada 61 cms , Atornillar panel SHEETROCK* de 13 mm de cada lado a 30 cms de separación maxima

Tipo 13/92/13 Igual al anterior pero con Canal y Poste Metálico YPSA* de 92 mm

Tipo 16/41-41/16 Doble hilera de Canal y Poste Metálico YPSA* de 41 mm ,a cada 61cms ,separadas según necesidades de instalaciones Segmentos de panel para rigidizar, de 30 cms de alto x ancho (60 cms max) conectando postes opuestos, a una separación máxima de los cuartos de la altura (altura máxima 3 05 m)

Tipo DS a 7,5 cm Doble Sólido - Doble hilera de NUCLEO-YESO YPSA* continuo, separados a 7 5 cms , interior Atornillados sobre ángulo de lámina galvanizada, calibre 24 de 35 mm x 22 mm Aplicar panel SHEETROCK* de 13 mm de cada lado con Tornillos YPSA* y Cemento REDI-MIX*

Tipo 13/13/63 5/13/13 Canal y Poste Metálico YPSA* de 63 5 mm a cada 61 cms —Atornillar doble panel SHEETROCK* de 13 mm con juntas alternadas evitando coincidencias, con Tornillo YPSA* a cada 40 cms , (máx) cada capa separadamente.

Tipo 13/13/63 5-A/13/13 Igual a anterior pero con colchoneta de Lana Mineral de 38 mm de espesor y de 3 libras por pie cúbico de densidad, en la cavidad

Tipo 16/92/16 Canal y Poste Metálico YPSA* de 92 mm a cada 61 cms Atornillar panel SHEETROCK* de 16 mm a cada lado con Tornillos YPSA* a 30 cms de separación (máxima)

Tipo 16/92-A/16 Igual a anterior, con colchoneta de Lana Mineral de 38 mm de espesor, de 3 libras por pie cúbico de densidad en la cavidad

Nota importante Para que los muros proporcionen el aislamiento acústico indicado (STC), éstos deben ir sellados en sus juntas perimetrales y alrededor de cajas de luz y otras penetraciones con Calafateo Acrílico YPSA*, elastico, no endurecible, e impermeable

1 4 ACABADOS —Las juntas entre paneles se tratan con cinta PERF-A-CINTA* y cemento REDI-MIX* para reforzar y ocultar la junta

La decoración de los muros puede ser dejando al natural el papel manila para mayor economía en el caso del muro tipo SS-13 ó SS-16, o con vinílicas, esmaltes, pintura TEXTONE*, Acabado Princess YPSA* pinturas epóxicas, pinturas a base de poliuretano, tapices lambrines, etc

BAÑOS —Los muros que circundan tina y/o regaderas deberán recubrirse con azulejo, cerámica, etc , aplicados con adhesivo impermeables Adhesivo Especial YPSA*

Sistema

a) Sellar perfectamente juntas perimetrales y penetraciones de tuberías, llaves, etc con Calafateo Acrílico YPSA*
b) Aplicar Adhesivo Especial YPSA*, impermeable y elástico con la espátula especial
c) Aplicar revestimiento azulejo, cerámica, etc , sellado final
d) Sellar pefectamente juntas perimetrales y penetraciones de tuberías, llaves, etc , con calafateo Acrílico YPSA*

VIVIENDA

1. ESPEFICACIONES PARA MUROS DIVISORIOS DE PANEL DE YESO SHEETROCK*

1.1 DENTRO DE UNA MISMA UNIDAD

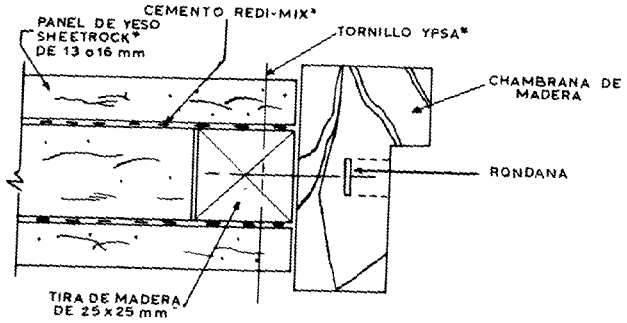
Entre	Tipo de muro	Peso/m²	STC	Espesor
Recamara y recamara	SS 13ó16	26o30 Kg	34 a 36	53ó59 mm
Recamara y alcoba	SS-13o16	26o30 Kg	34 a 36	53o59 mm
Recamara y baño (sin instalaciones)	SS 13o16	26o30 Kg	34 a 36	53o59 mm
Baño y vestibulos	SS 13o16	26o30 Kg	34 a 36	53o59 mm
Baño y cocina	13/63 5/13	24 Kg	40	89 5 mm
	13/92/13	25 Kg	42	118 mm
	16/41 41/16	34 Kg	variable	variable
Cocina y comedor	SS-13o16	26o30 Kg	34 a 36	53o59 mm
Cocina y Vestibulos	SS 13o16	26o30 Kg	34 a 36	53o59 mm

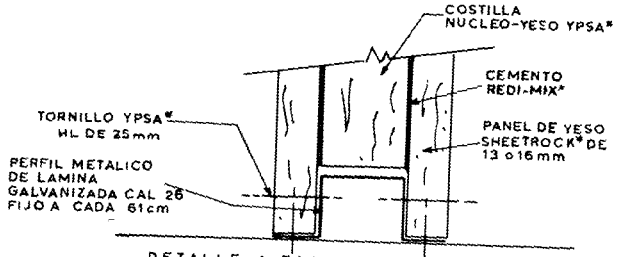
STC—Aislamiento Acustico

1.2 SEPARANDO APARTAMIENTOS INDEPENDIENTES

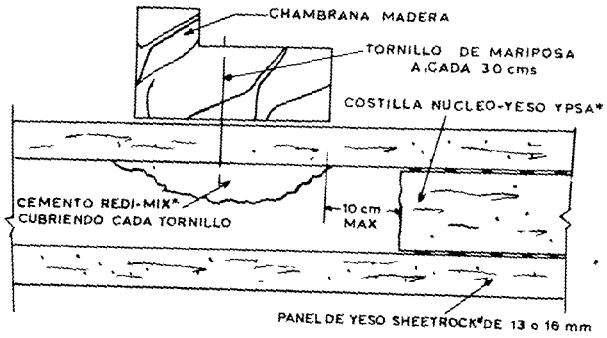
Entre	Tipo de Muro	Peso/m²	STC	Espesor
APARTAMIENTOS CONTIGUOS	DS a,7 5 cm	55 5 Kg	49 (est)	150 mm
	13/13/63 5/13/13	45 Kg	45 (est)	115 5 mm
	13/13/63 5 A/13/13*	45 Kg	52 (est)	115 5 mm
	16/92/16	29 Kg	42 (est)	124 mm
	16/92 A/16*	29 Kg	49 (est)	124 mm
Recamara y circulaciones generales	16/63 5/16	28 Kg	40 (est)	95 5 mm

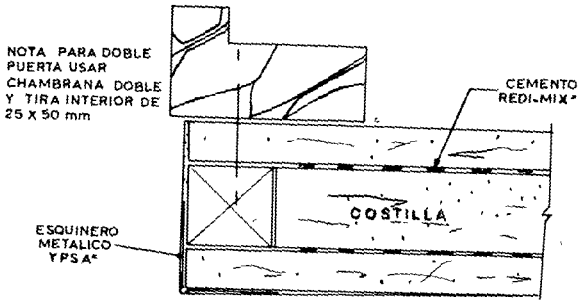
(*) A. Con aislamiento acústico Colchoneta de Lana Mineral de 38 mm. (1 1/2) de espesor y 3 libras por pie cúbico de densidad.

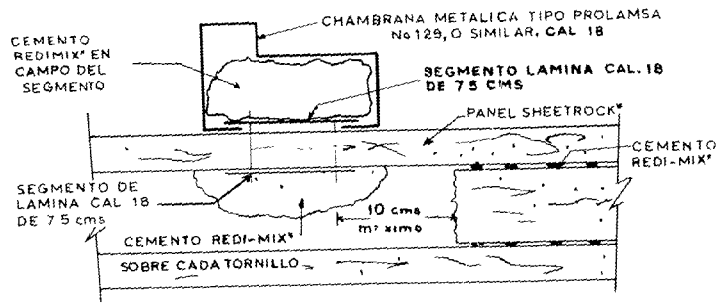


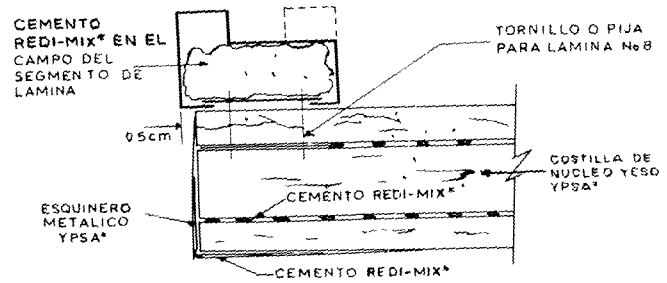


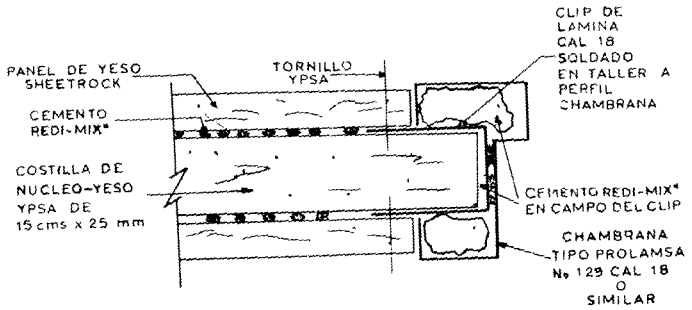
DETALLE A PISO Y TECHO

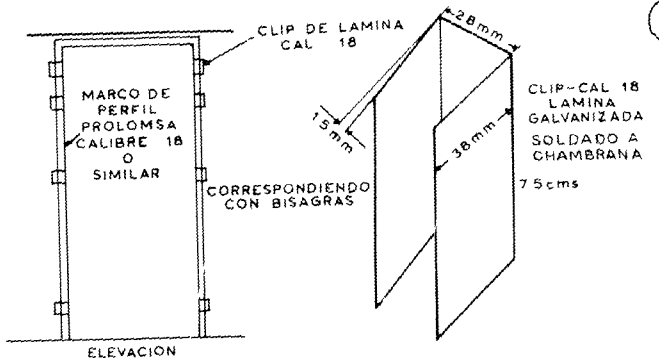












Elementos basicos necesarios Barrera de Vapor, Aislamiento Termico en climas extremosos, Juntas de Expansión y Botaguas de Lámina Galvanizada, Sellado de Juntas con Calafateo Acrílico YPSA*

Estructura del Muro Postes de Metal o Madera

- Membrana Interior de Panel de Yeso SHEETROCK FIRECODE*

2 2 Membrana Exterior de Panel de Asbesto Cemento

Elementos básicos necesarios Barrera de Vapor, Aislamiento Térmico en climas extremosos, Botaguas de Lámina Galvanizado, Sellado de Juntas con Calafateo Acrílico YPSA*

Estructura del Muro Postes de Madera

- Membrana Interior de Panel de Yeso SHEETROCK FIRECODE*

2 3 Membrana Exterior de Tablones de Madera

Elementos básicos necesarios Barrera de Vapor, Aislamiento Térmico en climas extremosos, Botaguas de Lámina Galvanizada, Sellado de Juntas con Calafateo Acrílico YPSA*.

Estructura del Muro Postes de Madera

- Membrana Interior de Panel de Yeso SHEETROCK FIRECODE*

2 4 Membrana Exterior de Tejas de Madera

Elementos básicos necesarios Base de Triplay grado exterior o Tablones de Madera, Barrera de Vapor, Aislamiento Térmico en climas extremosos, Botaguas de Lámina Galvanizada, Sellado de Juntas con Calafateo Acrílico YPSA*

Estructura del Muro Postes de Madera

- Membrana Interior de Panel de Yeso SHEETROCK FIRECODE*

2 5 Membrana Exterior de Tejas de Asbesto Cemento

Elementos básicos necesarios Base de Triplay grado exterior o Tablones de Madera, Barrera de Vapor, Aislamiento Térmico en climas extremosos, Botaguas de Lámina Galvanizada, Sellado de Juntas con Calafateo Acrílico YPSA*

Estructura del Muro Postes de Madera

- Membrana Interior de Panel de Yeso SHEETROCK* FIRECODE*

2 6 Membrana Exterior de Lámina Metálica

Elementos básicos necesarios Barrera de Vapor, Aislamiento Térmico, Sellado de Juntas con Calafateo Acrílico YPSA*

Estructura del Muro Postes de Madera o Metal

- Membrana Interior de Panel de Yeso SHEETROCK FIRECODE*

NOTA Los aislamientos térmicos deben ser resistentes al fuego

Tanto los sistemas estructurales ligeros como los muros exteriores ligeros permiten la prefabricación en plantas y en todos los casos reducen costos de transportación y aumento de su velocidad

Para información relacionada con éstos sistemas, favor de dirigirse al Departamento de Servicios Técnicos de YESO PANAMERICANO S A de C V

DIVERSAS APLICACIONES DEL PANEL DE YESO SHEETROCK* PARA VIVIENDA, CON VARIOS SISTEMAS CONSTRUCTIVOS

Debido a la gran versatilidad del Panel de Yeso SHEETROCK* se hace mención de varios sistemas constructivos aplicables a los diferentes estados del país

1. SISTEMAS ESTRUCTURALES

1 1 Muros de Carga de Ladrillo, Block de Concreto y otros, que generalmente soportan entrepisos y cubiertas de Concreto Armado.
- Muros Divisorios Interiores de Panel de Yeso SHEETROCK*

1.2 Muros de Carga de Concreto Armado, que soportan entrepisos y cubiertas de Concreto Armado
- Muros Divisorios Interiores de Panel de Yeso SHEETROCK*.

1 3 Columnas de Concreto, coladas en sitio o precoladas, proporcionando una planta libre que permite el uso de materiales ligeros según el lugar, soportan trabes o marcos portantes que a su vez soportan las losas de entrepiso o cubierta.
- Muros Divisorios Interiores y Membrana Interior de algunos tipos de Muros Exteriores con Panel de Yeso SHEETROCK*.

1.4. Columnas de Concreto Precoladas, que soportan entrepisos y cubiertas a base de Elementos de Concreto Presforzado.
- Muros Divisorios Interiores y Membrana Interior de algunos tipos de Muros Exteriores con Panel de Yeso SHEETROCK*

1 5. Columnas de Acero que soportan entrepisos y cubiertas de Acero con diversos materiales ligeros
- Muros Divisorios Interiores y Membrana Interior de Muros Exteriores con Panel de Yeso SHEETROCK*.
- Plafón y Forro de Columnas de Acero con Panel de Yeso SHEETROCK FIRECODE* para proporcionar Protección contra Incendio y base para los acabados

1 6 Perfiles Estructurales de Acero Tipo PEN METAL para Muros de Carga, que soportan Entrepisos y Cubiertas con el mismo tipo de perfiles
- Muros Divisorios Interiores
- Membrana Interior de Muro Exterior y Plafones con Panel de Yeso SHEETROCK FIRECODE* proporcionando protección contra Incendio

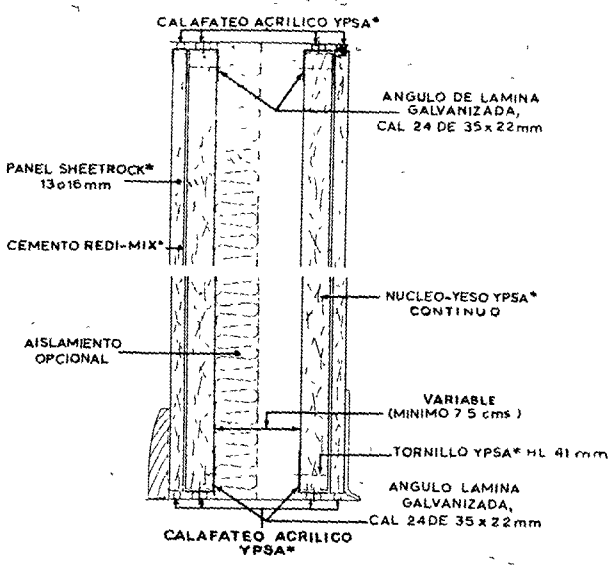
1 7 Perfiles Estructurales Tubulares de Acero, Tipo PTR estructurando la Membrana Exterior de Lámina tanto de Muro como de Cubierta.
- Muros Divisorios Interiores
- Membrana Interior de Muro Exterior y Cubierta con Panel de Yeso SHEETROCK FIRECODE* para proporcionar Protección contra Incendio

1 8 Estructura a base de Postes de Madera de 5 x 10 cm (2" x 4") que soportan entrepisos de Viguetas de Madera de 5 x 15 cms. (2" x 6") y Cubiertas ligeras de Armaduras de Madera
- Muros Divisorios Interiores y Membrana Interior de Muros Exteriores con Panel de Yeso SHEETROCK FIRECODE* para proporcionar Protección contra Incendio.

2 SISTEMAS DE MUROS EXTERIORES LIGEROS

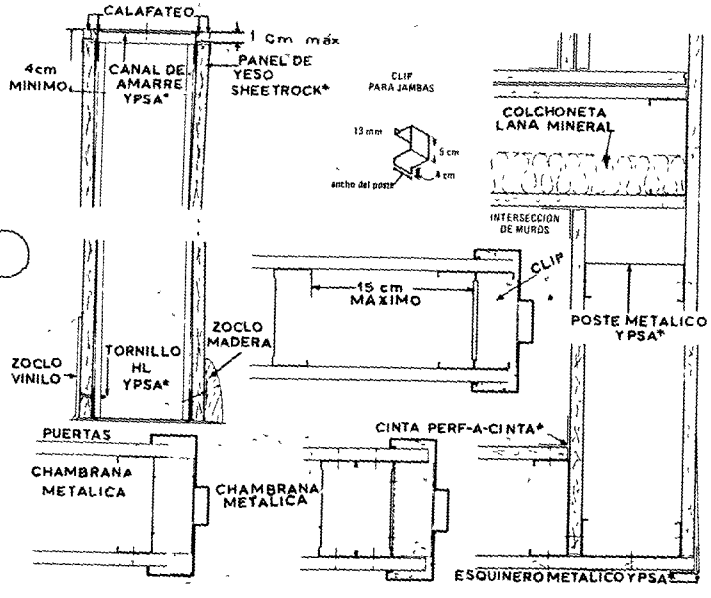
2 1 Membrana Exterior de Aplanado de Cemento Portland, Cal y Arena, sobre Metal Desplegado Galvanizado o Malla de Alambre Galvanizado Cal 16 con respaldo de papel

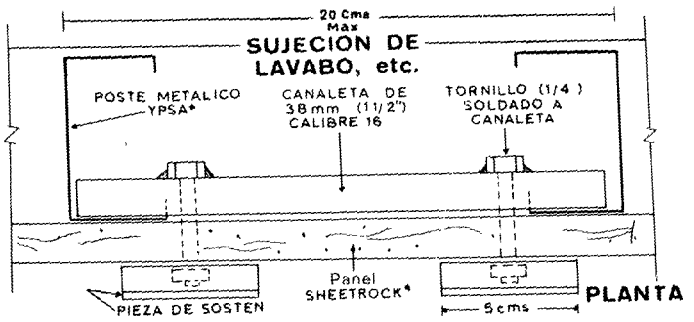
Muro tipo doble sólido

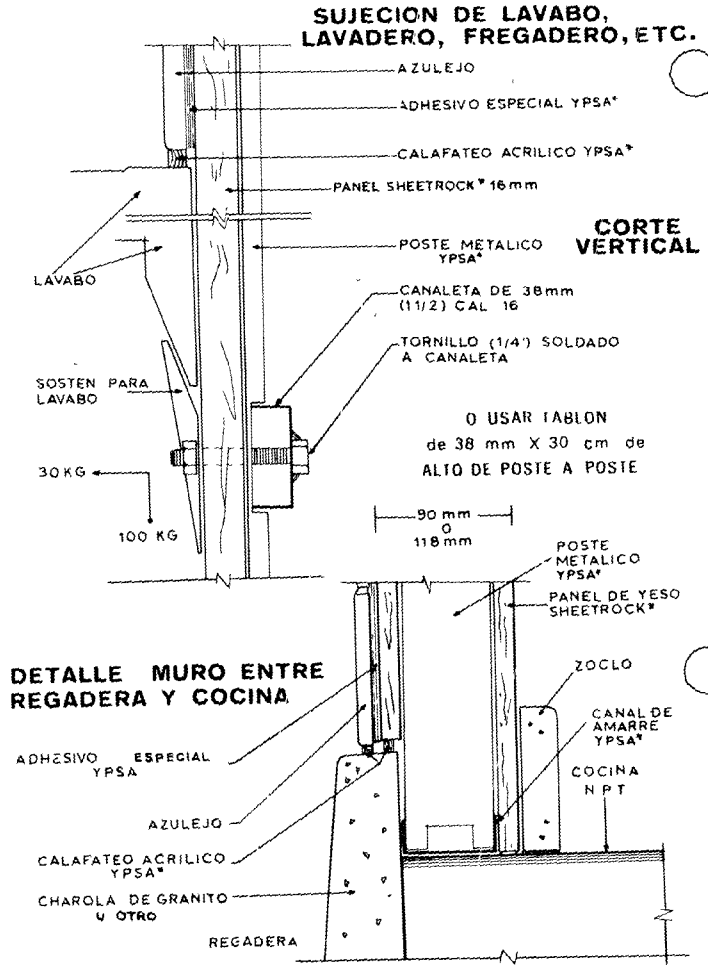


Detalles constructivos típicos

Muros divisorios de Panel de Yeso SHEETROCK* con Canal de Amarre y Poste Metálico YPSA*







Nota El adhesivo especial YPSA*, no necesita sellador

INTRODUCCION

El Panel de Yeso se utiliza en la actualidad y desde hace mas de 50 años en Norteamérica, Europa, Sudamérica, Japón, Australia, y otros países, aplicado a vivienda de todo género, desde económica hasta de lujo, debido a las múltiples ventajas que proporciona

- Rapidez de colocación y limpieza
- Ligereza
- Atenuacion del Impacto Sísmico
- Resistencia al Fuego
- Aislamiento del Sonido
- Mínimo Espesor
- Reducción de Estructura y Cimentación, aún en casas unifamiliares
- Facilidad de Control de Materiales
- Mínimo volúmen de Almacenaje en obra
- Permite Acabados Diversos
- Se Adapta a las Necesidades de Cada Obra
- Máximo aprovechamiento de los medios de transporte
- Versatilidad.

Los Muros Divisorios con Panel de Yeso se aplican con cualquier sistema estructural combinados con muros de carga, estructura de acero, estructura de madera, concreto presforzado, vivienda prefabricada, etc , facilitando la utilización de los sistemas estructurales de acuerdo con las posibilidades de cada lugar.

Los Sistemas de Muros Divisorios con Panel de Yeso permiten una flexibilidad máxima para satisfacer las necesidades de cada caso, teniendo una planta libre Para satisfacer la demanda de construcción actual es necesario aprovechar al máximo los materiales y el trabajo del hombre, dentro de la mayor seguridad, higiene y comodidad, en el menor tiempo, posible, logrando así la mayor economía

Los sistemas de Muros Divisorios con Panel de Yeso se han venido desarrollando a través de 70 años en todo el mundo, lo que permite contar con un sistema perfeccionado apoyado con la experiencia de los países enumerados anteriormente

Solamente en Inglaterra, en el año de 1948, se fabricaron más de 40 millones de metros cuadrados de Panel de Yeso.

YESO PANAMERICANO,S A deC V proporciona Asistencia Técnica sobre diseño y especificación de

- Muros Divisorios
- Plafones
- Protección de Estructuras Metálicas contra Incendio
- Control del Sonido en los Edificios
- Acabados,

a través de su Departamento de Servicios Técnicos

Este manual se ha elaborado con el deseo de que sirva como guía para el diseño, especificación, construcción y supervisión de Muros Divisorios con Panel de Yeso SHEETROCK* para Vivienda.

NUESTRA PORTADA

EN LA ACTUALIDAD EL ARQUITECTO Y EL CONSTRUCTOR TIENEN LA RESPONSABILIDAD DE UTILIZAR TODOS LOS MATERIALES Y SISTEMAS CONSTRUCTIVOS. **BASICOS, TRADICIONALES, MODERNOS Y RADICALMENTE DIFERENTES,** LOS CUALES DE ACUERDO CON NUESTRA EPOCA, PERMITAN SATISFACER TODOS LOS REQUERIMIENTOS CON **BELLEZA, FUNCIONALIDAD, SEGURIDAD Y PRODUCTIVIDAD;** LOGRANDO LA MAYOR ECONOMIA

ASI EL YESO UN MATERIAL TRADICIONAL HA EVOLUCIONADO CON LA TECNOLOGIA MODERNA PARA SATISFACER LAS NECESIDADES DE LA CONSTRUCCION EN NUESTRO MUNDO ACTUAL.

INDICE:

YESO PANAMERICANO, S. A de C V.
Insurgentes Sur 540 México 7, D. F Tel. 564-8411

APLICACION DE PANEL DE YESO SHEETROCK* SOBRE MADERA

Para obtener buenos resultados en este tipo de construcción, es necesario que la madera cumpla con los siguientes requisitos

1 Los elementos deben ser rectos, de dimensiones uniformes, a escuadra y deben quedar debidamente alineados Cualquier elemento de refuerzo, elementos contra incendio, tuberías, etc , no deben proyectarse sobre el plano de la estructura o bastidor

2. Todos los elementos deben ser de buena calidad según el uso a que se destinen, en dimensión 5x10 cm (2"x4") nominal Con marca registrada y clase impresos Según clasificación recomendada por el "American Lumber Standards Committee"

3 La humedad de los elementos no debe ser mayor de 15% al momento de aplicar el panel de yeso SHEETROCK

4 No se coloque panel de yeso sobre elementos demasiado suaves

5 Separación de elementos

Espesor del panel de yeso	Localización	Sistema de Aplicación	Espaciamiento máximo
10 mm	plafones	horizontal	40 cms
10 mm	muros divisorios	horiz o vert	40 cms
13 mm.	plafones	vertical	40 cms
13 mm	muros divisorios	horizontal	61 cms.
16 mm	plafones	horiz o vert.	61 cms
16 mm.	muros divisorios	vertical	40 cms
		horizontal	61 cms.
		horiz o vert	61 cms

Nota Horizontal-transversal al bastidor Vertical a lo largo del bastidor

FIJACION

A través de extensas pruebas, se ha demostrado que la fijación con tornillo (pija) es superior a la del clavo, comparativamente la fijación con tornillo ofrece

Más de 100% de resistencia tráctil.
Más de 100% de resistencia a empujes
Incidencia menor de paneles sueltos.
Mayor protección contra corrosión.
Reducción de defectos en la cabeza del fijador
Fijación más ajustada a la estructura.
Menos elementos fijadores —menos emplastecido y material para emplastecer
Eliminación de rupturas en el papel y de fractura en el núcleo, del panel debidas al clavado

FIJACION CON TORNILLO

Debido a la forma de la cabeza del tornillo que se usa, de "corneta", este forma una "cuña" propiamente que no fractura el papel

El atornillador eléctrico con que se aplica, se ajusta a la profundidad necesaria, ya que el tornillo debe quedar remetido del paño del panel aproximadamente 0 5 mm. para después emplastecerse con cemento REDI-MIX* El tornillo que debe usarse es el tornillo H L de 32 mm (1-1/4") de largo, mínimo, a una separación máxima de 30 cms.

FIJACION CON CLAVO

El clavo que na dado mejor resultado es el que tiene anillos sección variable (ver ilustración)

El largo mínimo del clavo, si es anular, es de 32 mm (1-1/4"), y si es liso, de 41 mm (1-5/8"), 5 d, de calibre 13 1/2, cubierto con película de cemento —diametro de la cabeza 5 mm (15/64")

El clavo anular tiene 20% más de poder de agarre

Técnica de Clavado

1. Colocar los clavos a 1 cm de las orillas del panel
2 Comenzar clavando del centro del panel hacia los lados y extremos
3 Al clavar, hacer presión sobre el panel en la parte que se va a clavar, asegurando buen contacto con bastidor
4. Usese el martillo indicado específicamente para el objeto cabeza convexa especial
5 Con el último golpe debe asentarse el clavo dentro de la marca que deje el martillo especial quedando remetido

No debe romperse el papel alrededor de la cabeza del clavo, ni en la depresión formada por la cabeza especial del martillo La depresión no debe tener más de 0 5 mm de profundidad

La práctica más adecuada a la fecha, es el sistema de "doble clavado", dejando doble clavo a 5 cms de separación entre sí y a 30 cms de separación a centros entre pares Esto es con el objeto de reducir la falla por el "rebote" producido por el golpe del martillo

Problemas Típicos de la aplicación sobre madera

1 Paneles sueltos —debido a que el clavo no se clavo haciendo suficiente presión sobre el panel en el lugar
2 Clavado falso — al tener algún elemento de bastidor fuera del paño general
3 Elementos del bastidor torcidos —produce que el panel quede fuera del paño debido o que se rompa
4 Dilatación y contracción de la madera —normalmente la madera a usarse en este caso debe tener un contenido de humedad de 15 % al aplicar el panel de yeso en la obra. —Debido a cambios de temperatura, esta humedad puede reducirse o aumentarse teniendo variantes que aumentan y reducen el elemento de madera

Es el caso de un elemento de 5x10 cms, si su contenido de humedad baja de 19% a 10% se puede encoger hasta 7 mm en su dimensión mayor total

Al encogerse la madera, el clavo "tiende" a salir quedando el apoyo falso, que se traducirá en ruptura

Clavos Especiales para fijar Panel de Yeso SHEETROCK* a Elementos de Madera

1.—Clavo "Escamado" de 31 mm, (1 1/4"), para panel SHEETROCK* de 13 mm

2 —Clavo "Escamado" de 35 mm (1 3/8"), para panel SHEETROCK* de 16 mm

3 —Clavo Cementado 5 d, Calibre 13 1/2, Diámetro de la Cabeza 15/64" Largo = 41 mm, (1 5/8") Para panel SHEETROCK* de 13 mm

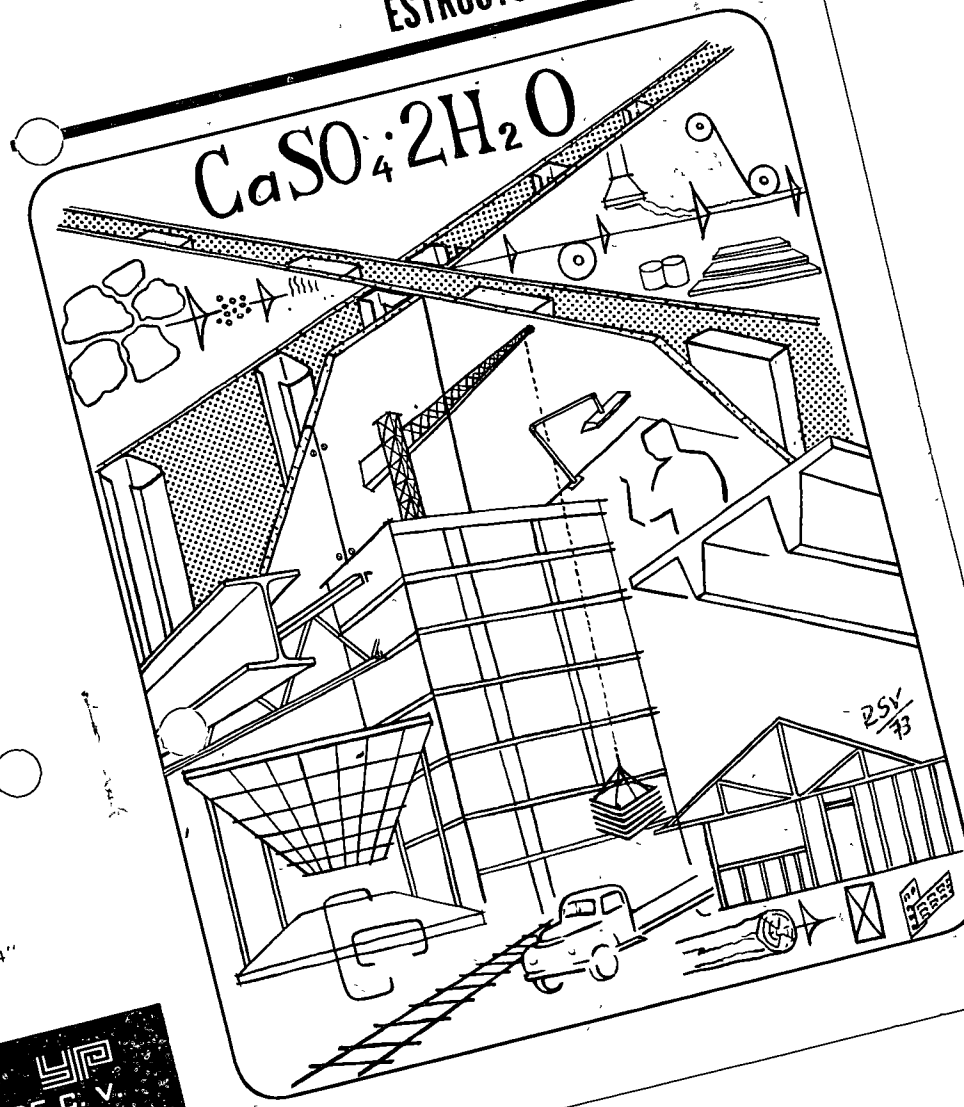
4 —Clavo Cementado 6 d, Calibre 13 Diámetro de la Cabeza 1 1/4" Largo 47 mm (1 7/8") Para panel SHEETROCK* de 16 mm

PY 05 SEP 75

YESO PANAMERICANO, S. A. DE C. V.
ENTES SUR 540 PISO 8 MEXICO 7, D. F. TEL. 564-8411

MANUAL PARA APLICACIÓN DE PANELES DE YESO SHEETROCK*

En viviendas Unifamiliares y Multifamiliares CON DIVERSOS SISTEMAS ESTRUCTURALES



Estimados Señores:

Fecha _____

Deseo recibir mayor información de los productos YPSA*, y por lo tanto solicito:

☐ ENTREVISTA PERSONAL ☐ LITERATURA ☐ COTIZACION

DE LOS PRODUCTOS QUE A CONTINUACION SEÑALO:

- ○ Paneles de yeso SHEETROCK*
- ○ Pinturas y acabados texturizados YPSA*
- ○ Productos ACOUSTONE* para control de sonido
- ○ Yesos CUALI-MEX*
- ○ Yesos DUROMOLD*
- ○ Aislamientos YPSA*
- ○ Yesos Especiales YPSA*

a la brevedad posible y a la atención de:

Nombre _____

Puesto _____

Compañía _____

Domicilio _____

Ciudad _____

Teléfonos _____ Edo. _____

CORRESPONDENCIA CON DERECHOS POR COBRAR
Los derechos que cause esta pieza serán pagados por
YESO PANAMERICANO, S. A. DE C. V.
en la administración de correos No. 27 de México 7, D F
Permiso No 2916 de la Dirección General de Correos

SERVICIO ORDINARIO POR VIAS DE SUPERFICIE
PRIMERA CLASE

NO
NECESITA
TIMBRES

YESO PANAMERICANO, S. A. DE C. V.
CARGO ADMINISTRACION DE CORREOS No. 27
MEXICO 7, D. F.

Atención: Gerente de Ventas